D. E. RAVALICO

STRUMENTI PER RADIOTECNICI

SEDICESIMA EDIZIONE AGGIORNATA
a cura di GIORGIO TERENZI

212 figure nel testo e 4 tavole fuori testo



HOEPLI

SERVIZIO RADIOTECNICO

VOLUME PRIMO

STRUMENTI PER RADIOTECNICI

D. E. RAVALICO

SERVIZIO RADIOTECNICO

VOLUME SECONDO

RADIO RIPARAZIONI

RICERCA ED ELIMINAZIONE DEI GUASTI E DIFETTI NEGLI APPARECCHI RADIO

NOTE PRATICHE PER L'ALLINEAMENTO E LA MESSA A PUNTO DEGLI APPARECCHI RADIO A MODULAZIONE DI AMPIEZZA E DI FREQUENZA - NOTE PRATICHE PER LA RIPARAZIONE DEGLI APPARECCHI PORTATILI, A TRANSISTOR - ELIMINAZIONE DELLE INTERFERENZE, FISCHI, RONZIO, RUMORE DI FONDO, DELLA DISTORSIONE, DEI FALSI CONTATTI, ECC. - NORME PER LA INSTALLAZIONE, MANUTENZIONE E RIPARAZIONE DEGLI APPARECCHI AUTORADIO - NORME PER IL CAMBIO FUNICELLA DELLE SCALE PARLANTI - ORGANIZZAZIONE DEL LABORATORIO RADIOTECNICO E DISPOSIZIONI LEGISLATIVE

SEDICESIMA EDIZIONE AMPLIATA

244 figure - 6 tavole f. t.
11 tabelle

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

D. E. RAVALICO

SERVIZIO RADIOTECNICO

VOLUME PRIMO

STRUMENTI PER RADIOTECNICI

STRUMENTI PER LA MESSA A PUNTO E LA RIPARAZIONE DEGLI APPARECCHI RADIO

MISURE DI TENSIONE, DI CORRENTE, DI RESISTENZA, DI CAPACITÀ, DI INDUTTANZA, DI IMPEDENZA, DI FREQUENZA, DI LUNGHEZZA D'ONDA, DI POTENZA E DI LIVELLO SONORO - DATI COSTRUTTIVI E SCHEMI DI VOLTMETRI, DI MULTIMETRI, DI ANALIZZATORI, DI CAPACIMETRI, DI FREQUENZIMETRI, DI ONDAMETRI, DI OSCILLATORI MODULATI - STRUMENTI PER LA PROVA DEI TRANSISTOR

SEDICESIMA EDIZIONE AGGIORNATA

a cura di GIORGIO TERENZI

212 figure nel testo
e 4 tavole fuori testo

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

ISBN 88-203-1088-0

Stampa:
IGIS SpA Industrie Grafiche Italiane Stucchi
20138 Milano - Via Salomone 61 / Printed in Italy

INDICE DEI CAPITOLI

CAPITOLO PRIMO

MISURE E STRUMENTI

I fenomeni basilari.

Il primo dei fenomeni fisici utilizzati per le misure elettriche è stato scoperto da Hans C. Oersted, nel 1819. Oersted dispose un filo conduttore sopra l'ago magnetico di una bussola, per osservare se la corrente elettrica avesse qualche effetto su di esso. Il filo conduttore era posto nello stesso senso dell'ago. Ogni qualvolta passava una corrente nel filo, l'ago subiva uno spostamento; tendeva a porsi ad angolo retto rispetto al filo. Se l'intensità della corrente era debole, l'ago subiva solo un leggero spostamento; se era d'intensità sufficientemente elevata, si portava ad angolo retto. Non appena la corrente cessava, l'ago ritornava in posizione di riposo.

In presenza di correnti molto deboli, l'ago magnetico rimaneva immobile. In seguito si constatò che bastava collocare la bussola nell'interno di una bobina di filo, per ottenere che l'ago segnasse anche la presenza di tali correnti.

Le figg. 1.1 e 1.2 illustrano le due utilizzazioni dell'ago della bussola, per indicare la presenza di correnti elettriche. La rosa dei venti della bussola venne sostituita con una scala graduata; ciò consentì le prime misure elettriche.

Il secondo fenomeno fisico è stato scoperto l'anno seguente, 1820, da André Marie Ampère. Egli notò che collocando una spira di filo conduttore tra le espansioni polari di un magnete, come in fig. 1.3, essa si sposta quando è percorsa da corrente elettrica. Dalla posizione di riposo, pa-

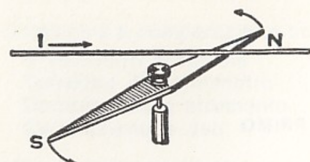


Fig. 1.1

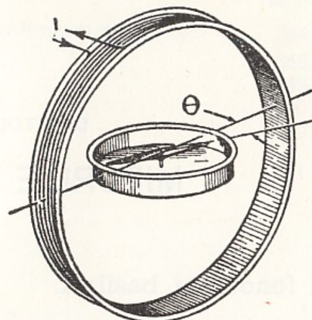


Fig. 1.2

rallela ai poli del magnete, tende a portarsi in posizione trasversale del campo magnetico. La deflessione è proporzionale all'intensità della corrente.

Nel primo fenomeno è il magnete che si muove mentre il conduttore è immobile; nel secondo, è il conduttore che si muove, mentre il magnete è fisso.

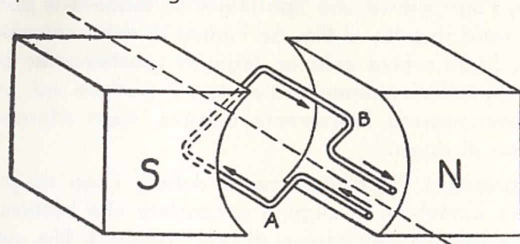


Fig. 1.3

Cenni storici.

Il primo strumento di misura realizzato in base al fenomeno scoperto da Ampère, fu probabilmente quello costruito nel 1836 da William Sturgeon. Tra le espansioni polari di un magnete, una bobina di filo poteva ruotare intorno al proprio asse. Gli spostamenti della bobina indicavano la presenza di corrente elettrica. Lo strumento venne perfezionato nel 1867 da Lord Kelvin, e quindi nel 1882 da Arsène d'Ar-

sonval. Quest'ultimo realizzò uno strumento di notevole sensibilità e precisione. La bobina era sostenuta da un cappio teso, portante un minuscolo e leggerissimo specchietto; lo specchietto deviava, spostando, il raggio di luce sopra una lunga scala graduata. In onore di Luigi Galvani, lo strumento venne denominato *galvanometro*.

Il galvanometro d'Arsonval è tuttora usato in laboratori fisici, più per determinare la presenza di correnti elettriche estremamente deboli, che per effettuare misure.

Poichè, nel galvanometro d'Arsonval, la bobina mobile è sospesa nel campo magnetico, tenuta ferma da fili tesi, lo strumento risulta alquanto delicato, e adatto per rimanere immobile in un angolo del laboratorio. Fu Edward Weston, nel 1884, a realizzare uno strumento di uso pratico, in cui la bobina mobile era trattenuta da una spiralina di bronzo, e sostenuta da due leggerissimi perni d'acciaio, provvisti di puntina di zaffiro.

Al posto dello specchietto del galvanometro d'Arsonval, nello strumento di Weston un indice era fissato alla bobina mobile, e si spostava insieme ad essa, segnando l'entità dello spostamento su una scala graduata, unita allo strumento stesso, come avviene negli strumenti attualmente in uso.

Gli strumenti di misura.

CATEGORIE DI STRUMENTI. — Poichè i fenomeni fisici basilari sono due, come accennato all'inizio, anche gli strumenti di misura sono di due categorie, a seconda del fenomeno sul quale si basano. Vi sono gli *strumenti a ferro mobile*, il cui principio è indicato dalla fig. 1.1, e gli *strumenti a bobina mobile*, i quali hanno per base il fenomeno indicato dalla fig. 1.2.

STRUMENTI DI MISURA A FERRO MOBILE. — Sono poco sensibili, ossia sono in grado di indicare la presenza solo di correnti elettriche relativamente intense; non segnano af-

fatto la presenza di correnti di debole intensità, come sono quelle presenti in gran parte dei circuiti degli apparecchi radio. Vengono perciò usati quasi esclusivamente per misurare la tensione della rete-luce, in quanto presentano il vantaggio di consentire misure sia di correnti continue che di correnti alternate. Presentano anche il vantaggio di essere di costo molto basso.

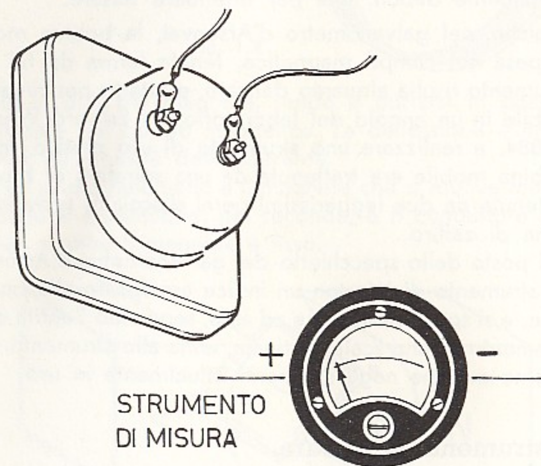


Fig. 1.4

In questi strumenti, l'indice è fissato ad un piccolo nucleo di ferro, libero di muoversi nell'interno di una bobina di filo, percorsa dalla corrente da misurare.

STRUMENTI DI MISURA A BOBINA MOBILE. — Sono generalmente usati per le misure di correnti e di tensioni, data la loro notevole sensibilità. Il principio di funzionamento

è quello illustrato dalla fig. 1.5. Il magnete permanente è a forma di ferro di cavallo, con un nucleo centrale cilindrico. La bobina mobile è infilata sul nucleo, senza toccarla, ed è sostenuta da due spiraline, in modo da essere libera di ruotare. Ad essa è fissato un indice, di materiale non metallico, il quale ne indica lo spostamento su una scala graduata.

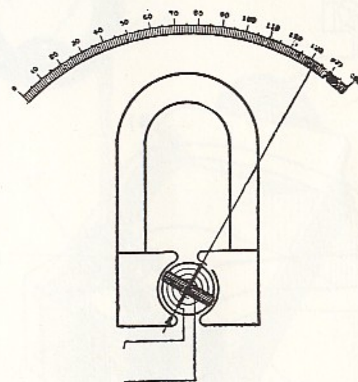


Fig. 1.5 - Esempio di strumento di misura.

La corrente elettrica da misurare giunge all'una e alla altra delle due spiraline, e da esse passa nell'avvolgimento di filo della bobina.

La fig. 1.6 mostra le varie parti componenti di uno strumento di misura. Con (A) è indicata la bobina mobile, disposta intorno al nucleo di ferro del magnete permanente. Con (B) è indicato l'intero magnete permanente. Con (C) è indicato il complesso di stabilizzazione e di sostegno della bobina mobile, costituito da una delle due spiraline metalliche, generalmente di bronzo, e da uno dei minuscoli perni d'acciaio, con punta di zaffiro.

Uno dei pioli d'arresto dell'indice è indicato con (D).

La fig. 1.7 illustra alcuni particolari dell'equipaggio mobile dello strumento di misura. La bobina di filo W è avvolta sopra un leggerissimo telaio d'alluminio F. Sulla parte anteriore e posteriore della bobina mobile si scorgono le due molle a spirale, di sostegno e stabilizzazione della bobina mobile: sono indicate con G. Dal centro della spiralina anteriore si vede sporgere uno dei sottili perni d'acciaio T. L'altro si trova al lato opposto. L'indice P è unito all'equipaggio mobile.

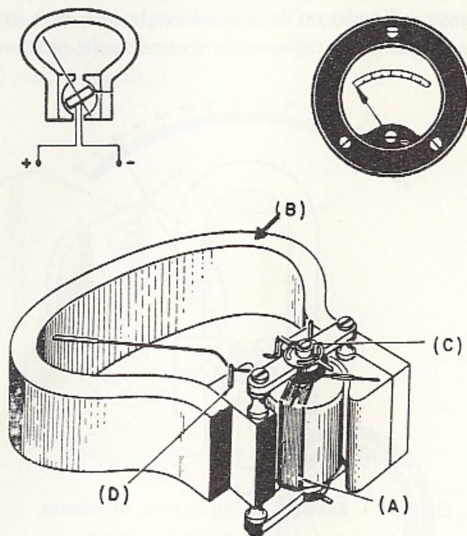


Fig. 1.6 - Parti componenti uno strumento di misura a bobina mobile.

Per assicurare la massima sensibilità dello strumento, lo equipaggio mobile è leggerissimo. Pesa circa un grammo nei milliamperometri, e circa un quarto di grammo nei microamperometri più sensibili.

Il numero di spire di filo della bobina dipende dalla portata dello strumento. Maggiore è l'intensità di corrente da misurare, minore è il numero di spire occorrenti. La bobina mobile risulta di poche spire negli amperometri, e di molte spire di filo molto sottile, smaltato, nei milliamperometri e nei microamperometri.

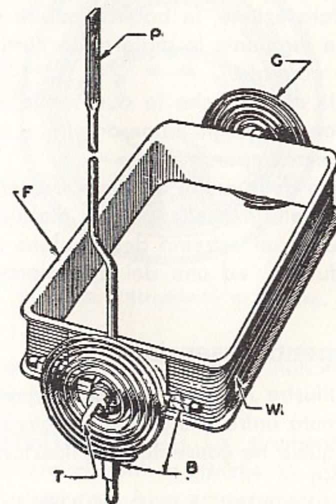


Fig. 1.7 - L'equipaggio mobile.

Correnti d'intensità molto forte non vengono direttamente misurate, in quanto strumenti adatti non sono praticamente realizzabili. Viene prelevata una parte della corrente, ad esempio un centesimo di essa; il resto, ossia gli altri 99 centesimi, scorrono in una resistenza posta in parallelo allo strumento. (Sarà detto in seguito come debba venir calcolata tale resistenza, a seconda della portata dello strumento).

LE MOLLE A SPIRALE. — In tutti gli strumenti, hanno molta importanza le due molle a spirale, poste ai due lati

della bobina mobile, e ben visibili in fig. 1.7. Esse hanno tre compiti. Il primo è quello di mantenere ferma la bobina mobile, in posizione di riposo, e l'indice all'inizio della scala, in assenza di corrente. In presenza di corrente da misurare, esse hanno il compito di fornire la coppia antagonista, ossia di controbilanciare il movimento della bobina mobile. Per effetto di tale loro azione, la bobina mobile rimane immobile non appena raggiunta la deflessione corrispondente all'intensità della corrente.

È per questa ragione che le due molle a spirale sono relativamente robuste negli amperometri, e molto leggere e delicate nei microamperometri.

Terzo compito delle molle a spirale è quello di far giungere la corrente elettrica alla bobina mobile. Ciascuna di esse è collegata ad un estremo della bobina mobile e, mediante un conduttore, ad uno dei due morsetti dello strumento.

Parti componenti essenziali.

La fig. 1.8 illustra l'aspetto esterno di uno strumento di misura. È contenuto entro una custodia provvista di una flangia esterna, la quale ne consente l'applicazione al pannello, mediante tre viti.

Sotto una lastrina di vetro è visibile il *quadrante* dello strumento; esso è generalmente costituito da un disco bianco, sul quale è segnata la *scala graduata*. Nell'esempio, la scala è graduata da 0 a 100.

Sulla scala graduata, in presenza di corrente elettrica, si sposta l'*indice* dello strumento; lo spostamento avviene in senso orario, ossia da sinistra verso destra. In figura, l'indice è in *posizione di riposo* ossia all'inizio della scala, corrispondente al valore zero della corrente.

In basso, parzialmente visibile, è l'*equipaggio mobile* dello strumento; esso è formato dalla bobina mobile e dagli accessori che ne consentono il libero movimento tra le espansioni polari del magnete.

Una *vite di messa a zero* è ben visibile al centro, in basso; essa consente di riportare all'inizio della scala l'indice, qualora per una ragione qualsiasi venisse a trovarsi fuori da tale posizione.

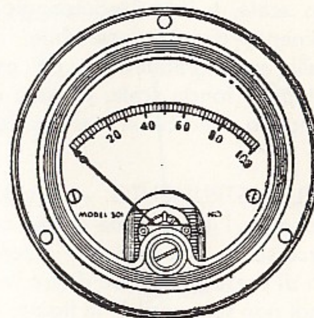


Fig. 1.8 - Strumento di misura.

Dietro il quadrante dello strumento, non visibile in figura, vi è il magnete permanente.

MISURE EFFETTUABILI. — Lo strumento può essere adatto per misurare correnti elettriche di intensità elevata, in ampere (A); in tal caso è un *amperometro*; sopra la scala graduata vi è la scritta *ampere* oppure la lettera A. Se la divisione della scala è quella di figura, lo strumento consente misure sino a 100 ampere; si suol dire che la sua *portata* è di 100 ampere; è un amperometro da 100 ampere.

Può essere adatto per misure di correnti deboli, in milliampere (mA); in tal caso è un *milliamperometro*, e il suo quadrante porta la scritta *milliampere* o mA. Quello di figura sarebbe un milliamperometro da 100 milliampere.

Può anche essere adatto per misure di correnti molto deboli, in *microampere* (μA); è allora un *microamperometro*.

Se un amperometro da 100 ampere viene usato per misurare una corrente molto debole, ad es. di 10 microam-

pere, il suo indice non si muove affatto, rimane immobile all'*inizio scala*. Se, per errore, un microamperometro da 100 microampere viene usato per misurare una corrente molto forte, ad es. di 10 ampere, il suo indice subisce un violento balzo oltre *fondo scala*, e il suo equipaggio mobile viene rovinato. Lo strumento diviene inservibile.

Ai due lati della scala graduata, un po' prima dell'*inizio scala*, e un po' dopo il *fondo scala*, vi sono due pioli d'arresto; essi trattengono l'indice in caso oltrepassi la scala graduata.

POLARITÀ DELLO STRUMENTO. — L'indice può subire un violento balzo oltre l'inizio delle scale, qualora lo strumento venga percorso da una corrente in senso inverso.

I due *morsetti di presa* sono posti dietro la custodia dello strumento, e quindi non sono visibili in figura; a fianco di uno di essi è segnato un +, e a fianco dell'altro un —.

Lo strumento serve solo per misure di *corrente continua*. Può venir usato anche per misure di *corrente alternata*, ma in tal caso la corrente deve venir prima raddrizzata e resa continua.

Caratteristiche degli strumenti di misura.

PORTATE. — Ciascuno strumento è costruito per una sola portata; per *portata* s'intende l'intensità massima della corrente che può venire misurata, e che è indicata a fondo scala. Lo strumento più comunemente usato in radiotecnica è il milliamperometro da 1 mA, ossia con la portata di 1 milliampere.

La fig. 1.9 indica quale può essere la scala graduata di un milliamperometro da 10 mA. L'indice segna una intensità di corrente di 4,7 milliampere.

Vi sono strumenti a più portate, ad es. con due portate, la prima sino a 3 milliampere e la seconda sino a 12 milliampere. La portata effettiva dello strumento è sempre una sola, quella minore, che nell'esempio è di 3 milliampere. La seconda portata è ottenuta con l'aggiunta in parallelo di una resistenza. La fig. 1.10 indica quale può essere la scala di un simile strumento a due portate. La graduazione è doppia,

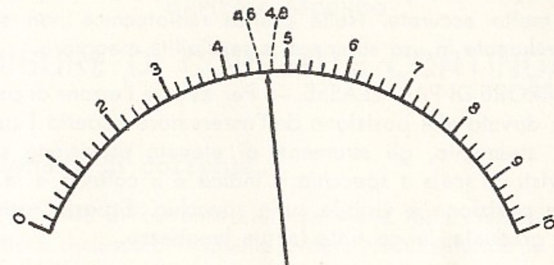


Fig. 1.9

per cui, ad es., alla indicazione di 1,5 mA corrisponde anche quella di 6 mA.

Vi sono strumenti con *portate milliamperometriche* e con *portate amperometriche*. Uno strumento con portata di 1 milliampere può venire adattato, con l'aggiunta di resistenze in parallelo, anche per le portate di 10 e di 100 milliampere,

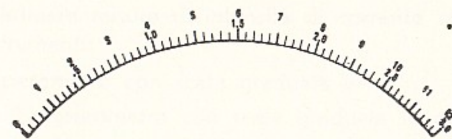


Fig. 1.10

nonchè per le portate di 1 e di 10 ampere. In tal caso è uno strumento a cinque portate. In seguito saranno illustrati numerosi esempi di strumenti simili.

SENSIBILITÀ. — Con il termine *sensibilità dello strumento* s'intende indicare la sua portata inferiore. Ad es. lo stru-

mento a cinque portate di cui sopra, da 1 mA a 5 A, ha la sensibilità di 1 milliampere. Uno strumento con portata di 1 mA è di sensibilità media; uno con portata di 50 microampere è di elevatissima sensibilità media, adatto per misure molto accurate. Nella pratica radiotecnica non sono generalmente in uso strumenti a sensibilità maggiore.

ERRORE DI PARALLASSE. — Per evitare l'errore di parallasse, dovuto alla posizione dell'osservatore rispetto l'indice dello strumento, gli strumenti di elevata precisione sono provvisti di *scala a specchio.* L'indice è a coltello e la sua esatta posizione è visibile sullo specchio disposto sotto la scala graduata, lungo tutta la sua lunghezza.

CAPITOLO SECONDO

MISURE DI CORRENTE CONTINUA

L'intensità di corrente.

L'*intensità di corrente elettrica* viene rappresentata con la lettera maiuscola *I.* Quella lettera ne costituisce il simbolo. Nell'uso pratico generalmente si omette il termine *intensità* e ci si riferisce solo al termine *corrente elettrica* o semplicemente *corrente.*

Per indicare l'intensità della corrente si adopera come unità di misura l'*ampere*, abbreviato A. Nell'uso pratico però l'ampere risulta molto grande, per cui sono in uso due sottomultipli:

il *milliampere* (mA) . . millesimo di ampere
il *microampere* (μA) . . milionesimo di ampere.

Per effettuare misure di intensità di corrente si adoperano tre strumenti:

l'*amperometro* con scala graduata in A
il *milliamperometro* con scala graduata in mA
il *microamperometro* con scala graduata in μA.

Il principio di funzionamento, ed anche l'aspetto esterno dei tre strumenti, è lo stesso; varia la loro *sensibilità.* Per questa ragione, è possibile effettuare una vasta gamma di misure di corrente con un solo strumento. Va però tenuto presente che con l'amperometro non si possono misurare correnti molto deboli, di qualche milliampere o di qualche microampere; è uno strumento adatto per correnti forti. Con

il milliamperometro è invece possibile misurare anche correnti di alcuni ampere, quelle presenti negli apparecchi radio a valvole o nei televisori a transistor o a circuiti integrati. Un tempo era generalmente usato il milliamperometro nei laboratori di radiotecnica, per tutte le misure di corrente, comprese quelle in ampere.

Attualmente è necessario effettuare misure d'intensità di corrente molto più deboli, quelle presenti nei transistor, per cui è utilizzato prevalentemente il microamperometro. Pur essendo uno strumento molto sensibile, esso si presta a misurare anche correnti in milliampere ed anche quelle sino a 10 ampere.

A tale scopo è provvisto di più portate, ad esempio le seguenti:

a) da 0 a 100 microampere (100 μA)

b) da 0 a 300 microampere (300 μA)

c) da 0 a 1 milliampere (1 mA)

d) da 0 a 30 milliampere (30 mA)

e) da 0 a 100 milliampere (100 mA)

f) da 0 a 1 ampere (1 A).

Il passaggio da una portata all'altra è generalmente ottenuto con un commutatore. Ad ogni posizione del commutatore corrisponde una portata, indicata sul pannello dell'apparecchio di misura.

Lo strumento è, come detto, un microamperometro. Sul suo *quadrante* sono tracciate due scale, una graduata da 0 a 100 e l'altra da 0 a 30. La *lettura* viene effettuata per moltiplicazione o divisione, quando necessario. Se, ad esempio, la portata è quella di 100 microampere, si legge quanto indica lo strumento sulla scala da 0 a 100. Se, invece, viene inserita la portata 300 microampere, la lettura va fatta sulla scala da 0 a 30, moltiplicando per 10 l'indicazione.

Collegamento dell'apparecchio di misura.

Tutte le misure di corrente vanno effettuate collegando l'apparecchio di misura in modo che esso risulti percorso dalla corrente. Va disposto IN SERIE. È perciò necessario interrompere il circuito nel punto in cui si vuol misurare la intensità di corrente, e collegare i due capi del conduttore alle due prese dell'apparecchio.

È quanto indica la fig. 2.1. Il circuito è semplicissimo. Consiste di una batteria di pile e di una resistenza elettrica. La corrente presente nel circuito dipende dalla tensione della batteria e dalla resistenza. Come si vedrà in seguito, la tensione si misura in volt e la resistenza in ohm. L'intensità della corrente risulta dalla LEGGE DI OHM. È riassunta dalla formula.

$$\text{Intensità di corrente in ampere} = \frac{\text{Tensione in volt}}{\text{Resistenza in ohm}}$$

oppure:

$$\text{Corrente in milliampere} = \frac{\text{Tensione in volt}}{\text{Resistenza in chiloohm}}$$

o anche:

$$\text{Corrente in microampere} = \frac{\text{Tensione in volt}}{\text{Resistenza in megaohm}}$$

Se, ad esempio, la tensione della batteria è di 9 volt, e il valore della resistenza è di 1000 ohm, l'intensità di corrente è di

$$9 : 1000 = 0{,}009 \text{ ampere} = 9 \text{ milliampere.}$$

Nella stessa figura è indicato anche un voltmetro, per la misura della tensione ai capi della resistenza. Va collegato IN PARALLELO.

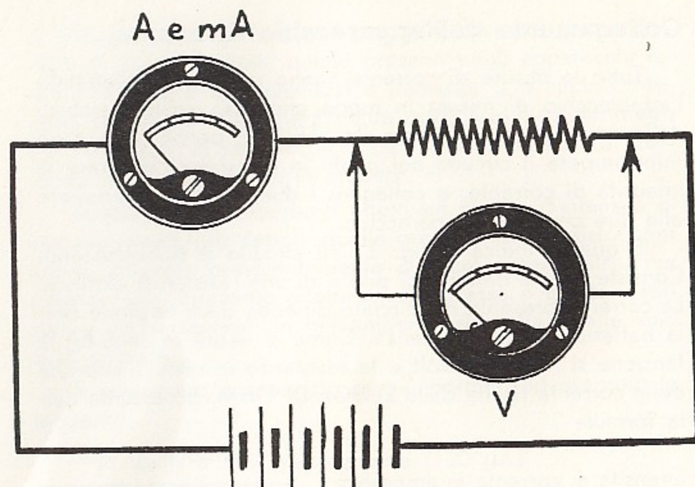


Fig. 2.1 - Come si adopera il voltmetro (V) e come si usa l'amperometro (A) o il milliamperometro (mA).

Milliamperometro a più portate.

Le intensità di corrente da misurare più frequentemente sono quelle in milliampere.

Per eseguire tali misure si può adoperare un milliamperometro a più portate, ad esempio le quattro seguenti:

a) portata minima: da 0 a 1 mA
b) 1ª portata media: da 0 a 10 mA
c) 2ª portata media: da 0 a 100 mA
d) portata massima: da 0 a 1000 mA.

Lo strumento deve essere adatto per la portata minima, perciò un milliamperometro da 1 mA fondo scala. La scala, disegnata sul suo quadrante, è suddivisa in cinque parti:

0,2 0,4 0,6 0,8 1 mA.

(Non è necessario specificare « fondo scala », ossia fine della scala graduata; si intende che un milliamperometro da 1 mA ha la portata massima di 1 mA a fondo scala).

Per le tre portate superiori a quella minima, il commutatore inserisce in parallelo ad esso una resistenza di valore adatto.

È necessario, infatti, che la corrente da misurare si divida in due parti, e che una percorra lo strumento e l'altra la resistenza. Con una semplice formula è facile calcolare il valore di tale resistenza.

Però, per poter usare la formula, è necessario conoscere la resistenza interna dello strumento.

RESISTENZA INTERNA DELLO STRUMENTO. — È la resistenza del filo che forma la sua bobina mobile. Dipende dalla costruzione dello strumento stesso, ed anche dalla sua portata. Quella di un milliamperometro da 1 mA può essere di 27 ohm, di 60 ohm, di 100 o di 105 ohm, o diversa. È generalmente indicata sul quadrante.

FORMULA PER IL CALCOLO. — Il valore della resistenza da collegare in serie al milliamperometro è la seguente:

$$\text{Resistenza in parallelo, in ohm} =$$

$$\text{Resistenza interna in ohm} : \left(\frac{\text{Portata maggiore}}{\text{Portata minore}} - 1 \right)$$

Per *portata maggiore* s'intende quella che si vuol ottenere; per *portata minore* quella dello strumento.

Se, ad es., la resistenza interna del milliamperometro a 1 mA è di 27 ohm, e si vuole estendere la sua portata a 10 mA, il valore della resistenza da collegare in parallelo è dato da:

$$27 : \left(\frac{10}{1} - 1 \right) = 27 : 9 = 3 \text{ ohm.}$$

È quanto indica la fig. 2.2. Con la resistenza di 3 ohm collegata allo strumento, esso risulta adatto per misure di corrente sino a 10 mA. Infatti, dei 10 mA nove decimi passano attraverso la resistenza di 3 ohm e un decimo attra-

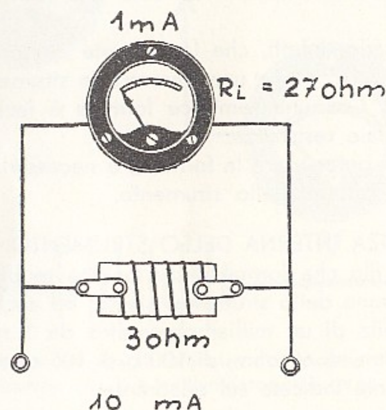


Fig. 2.2 - La portata dei milliamperometri può venir aumentata con una adeguata resistenza in parallelo.

versa lo strumento. In presenza di una corrente di 10 mA, segna 1 mA.

La portata di 10 mA va letta moltiplicando per 10 l'indicazione dello strumento. Per questa ragione tale portata è indicata con « volte 10 » o semplicemente ×10.

ALTRE PORTATE. — Le altre due portate, quella sino a 100 mA e quella sino a 1000 mA, vanno ottenute con altre due resistenze. Il valore di tali resistenze va calcolato nello stesso modo. La formula indicata può venir semplificata come segue:

$$\text{Resistenza interna in ohm} : (n-1)$$

in cui n è il rapporto tra le due portate, quella richiesta e quella dello strumento.

Per la portata sino a 100 mA, $n = 100 : 1$, ossia 100, per cui il valore della reistenza è di:

$$27 \text{ ohm} : (100-1) = 27 : 99 = 0,272 \text{ ohm.}$$

In tal modo la corrente si suddivide in due parti; una di esse è l'1 % della totale, e passa attraverso lo strumento; l'altra è del 99 % e passa attraverso la resistenza in parallelo, la quale ha perciò un valore molto basso. Se la corrente da misurare è di 100 mA, lo strumento è percorso da 1 mA e il suo indice è a fondo scala, mentre attraverso la resistenza passano 99 mA.

Per la portata sino a 1000 mA, il valore della resistenza necessaria è di:

$$27 \text{ ohm} : (1000-1) = 27 : 999 = 0,0272 \text{ ohm.}$$

In tal caso, quando lo strumento indica 1 mA, la corrente da misurare è di 1000 mA.

Esempio di milliamperometro a 4 portate.

È quello di fig. 2.3. Lo strumento è ancora un milliamperometro da 1 mA, però con la resistenza interna di 105 ohm anzichè di 27 ohm.

Il valore della resistenza per la portata minore (10 mA) è in tal caso di:

$$105 \text{ ohm} : (10-1) = 105 : 9 = 11,67 \text{ ohm.}$$

Quello delle resistenze per le altre due portate è:

portata 100 mA . . . . . . 1,06 ohm
portata 1000 mA . . . . . . 0,105 ohm.

Il passaggio da una portata all'altra avviene con un *commutatore di portata*, ad una via ed a quattro posizioni.

Nel punto X, in figura, è opportuna la presenza di un *interruttore*. Consente di aprire il circuito durante il passaggio da una portata all'altra, onde evitare eccessivi sbalzi dell'indice dello strumento.

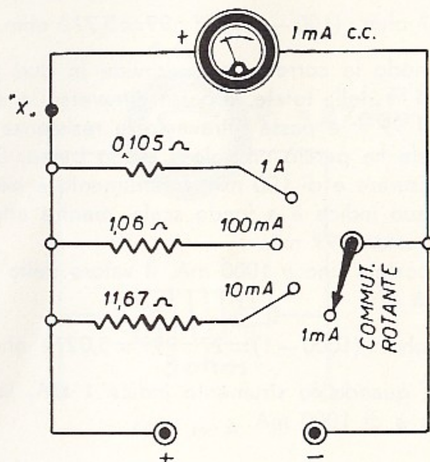


Fig. 2.3 - Il milliamperometro da 1 mA può venir adattato per misure di correnti più intense, con una o più resistenze in parallelo.

RESISTENZE SHUNT. — Le tre resistenze in parallelo allo strumento sono generalmente denominate *resistenze shunt*.

Misure con il microamperometro.

Misure di correnti d'intensità inferiore ad 1 milliampere vengono effettuate con il microamperometro. È nell'uso pratico lo strumento da 50 microampere fondo scala, in quanto consente anche accurate misure di tensione, come si vedrà nel prossimo capitolo.

Il microamperometro a più portate differisce dal milliamperometro soltanto per il diverso valore delle resistenze shunt. La fig. 2.4 illustra un esempio di strumento a cinque portate, le seguenti:

50 microampere
1 10 100 milliampere
1 ampere

VALORE DELLE RESISTENZE SHUNT. — La resistenza interna del microamperometro di cui l'esempio, è di 1140 ohm.

Il valore della resistenza shunt per la portata di 1 mA è ricavato nel modo già indicato. Il rapporto n è 1000 : 50 = = 20. Il valore della prima resistenza è perciò:

$$1140 \text{ ohm} : (20-1) = 60 \text{ ohm}.$$

Quello della seconda resistenza shunt, la portata sino a 10 mA, ossia sino a 10 000 microampere, è dato da:

$$n = 10\,000 : 50 = 200$$

per cui:

$$1140 \text{ ohm} : (200-1) = 5{,}73 \text{ ohm}.$$

Il valore della resistenza per la portata di 100 mA è dato da:

$$1140 \text{ ohm} : (2000-1) = 0{,}57 \text{ ohm}.$$

Infine, il valore della quarta resistenza, quella per la portata di 1 ampere, risulta di 0,057 ohm.

Resistenze shunt.

Le resistenze di qualche ohm o decina di ohm si possono ottenere facilmente, utilizzando due o tre resistenze di valore normale, collegate in modo adeguato. Inoltre esse sono percorse da corrente di debole intensità. Non è così invece per le resistenze di valore molto basso, di qualche decimo o centesimo di ohm, le quali sono percorse da correnti di intensità notevole. Vanno approntate appositamente

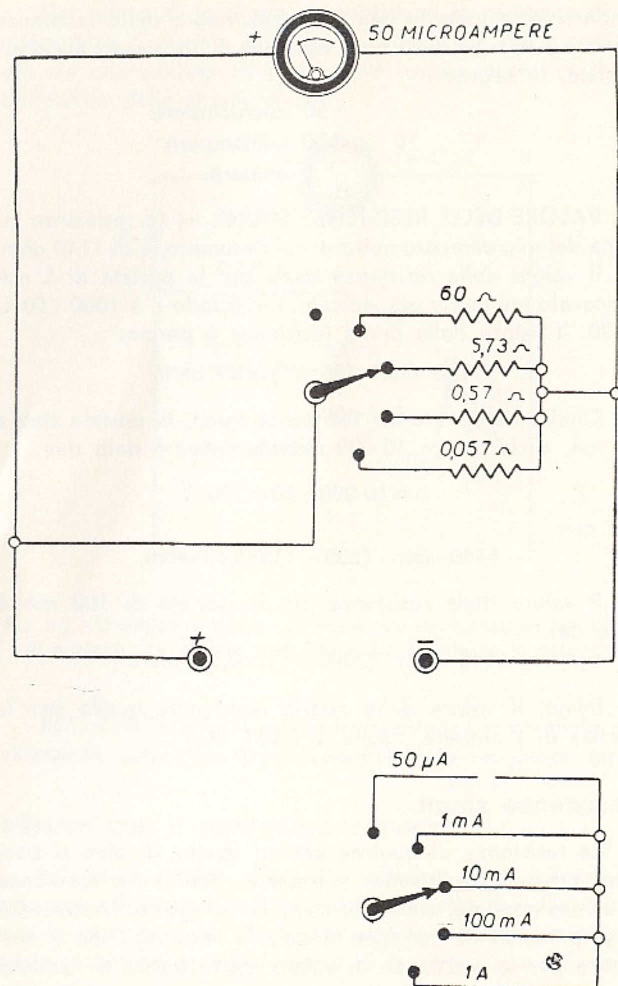


Fig. 2.4 - Schema di microamperometro a più portate.

avvolgendo un tratto di filo di nichelcromo o di costantana sopra una strisciolina di materiale isolante, ad es. porcellana, o su un tubetto.

Alcuni valori di resistenza di filo nichelcromo per metro e per spessore in millimetri, sono i seguenti: 0,1 = 144 ohm, 0,15 = 50,8 ohm, 0,18 = 35,4 ohm, 0,2 = 28,7 ohm, 0,3 = = 12,7 ohm, 0,4 = 7,65 ohm. Per la costantana: 0,1 = 62 ohm, 0,15 = 27,7 ohm, 0,18 = 19,2 ohm, 0,2 = 15,6 ohm, 0,3 = = 6,95 ohm, 0,4 = 3,89 ohm.

Strumenti con resistenze in serie.

La portata dello strumento può venire estesa anche in un altro modo oltre quello indicato. Le resistenze shunt possono venir collegate in serie, ossia una di seguito all'altra. In tal modo, alla portata minore corrisponde l'insieme di tutte le resistenze shunt.

Un esempio è quello di fig. 2.5. Con uno strumento da 50 microampere sono ottenute cinque portate, le seguenti:

200 microampere
1 25 100 500 milliampere.

La resistenza interna dello strumento è di 1000 ohm.

È necessario stabilire anzitutto il valore della resistenza totale delle cinque resistenze necessarie. Sono indicate con Rs_1, Rs_2, Rs_3, Rs_4 e Rs_5. Alla portata minore, di 200 microampere, la resistenza shunt è data da:

$$Rs_1 + Rs_2 + Rs_3 + Rs_4 + Rs_5.$$

Alla portata seguente, quella di 1 mA, la resistenza Rs_1 va a far parte della resistenza interna dello strumento Rm.

Il valore della resistenza totale, ossia quello corrispondente alla somma delle cinque resistenze, è dato dalla formula:

$$\text{Resistenza totale} = \text{Resistenza interna} : (n - 1)$$

in cui n è dato da:

n = Portata minore : Sensibilità strumento.

La portata minore è di 200 microampere, la sensibilità dello strumento è di 50 microampere, per cui $n=4$.

La somma delle cinque resistenze è perciò:

Resistenza totale = 1000 : (4 — 1) = 1000 : 3 = 333 ohm.

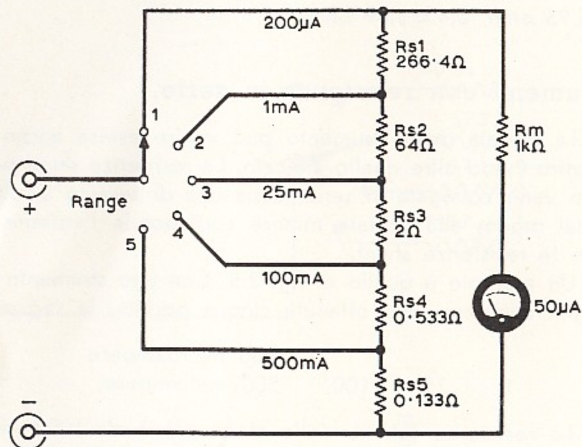


Fig. 2.5

Per calcolare il valore delle altre quattro resistenze in serie ($Rs_2+Rs_3+Rs_4+Rs_5$) corrispondenti alla *seconda portata*, quella di 1 mA, si utilizza la formula:

(Resistenza totale + Resistenza interna) : n

in cui $n=1000 : 50=20$. (La portata di 1 mA è indicata da 1000 microampere).

Ne risulta:

(333 ohm + 1000 ohm) : 20 = 1 333 : 20 = 66,65 ohm.

Per le altre tre portate si procede nello stesso modo, ossia:

Terza portata (25 mA = 25 000 µA):

(333 + 1000) : (25 000 : 50) = 1333 : 500 = 2,666 ohm.

Quarta portata (100 mA = 100 000 µA):

(333+1000) : (100 000 : 50) = 1333 : 2000 = 0,666 ohm.

Quinta portata (500 mA = 500 000 µA):

(333 + 1000) : (500 000 : 50) = 1333 : 10 000 = 0,1333 ohm.

Il valore delle cinque resistenze risulta perciò:

Resistenza totale	= 333	ohm
$Rs_1=333-66,65$	= 266,35	ohm
$Rs_2=66,65-2,66$	= 64	ohm
$Rs_3=2,666-0,666$	= 2	ohm
$Rs_4=0,666-0,133$	= 0,533	ohm
$Rs_5=$	0,133	ohm

Multimeter per correnti continue.

La fig. 2.6 illustra un altro esempio di *multi range meter* (multimeter) per correnti continue, del tipo a resistenze shunt in serie, come quello descritto. In questo esempio, il commutatore è sostituito con boccole, rosse per le varie portate (a polarità positiva) e nera per la presa comune (a polarità negativa).

Lo strumento di misura è un microamperometro da 500 microampere. La sua resistenza interna è di 100 ohm.

Le portate di misura sono sei:

1 mA	5 mA	10 mA
25 mA	50 mA	100 mA.

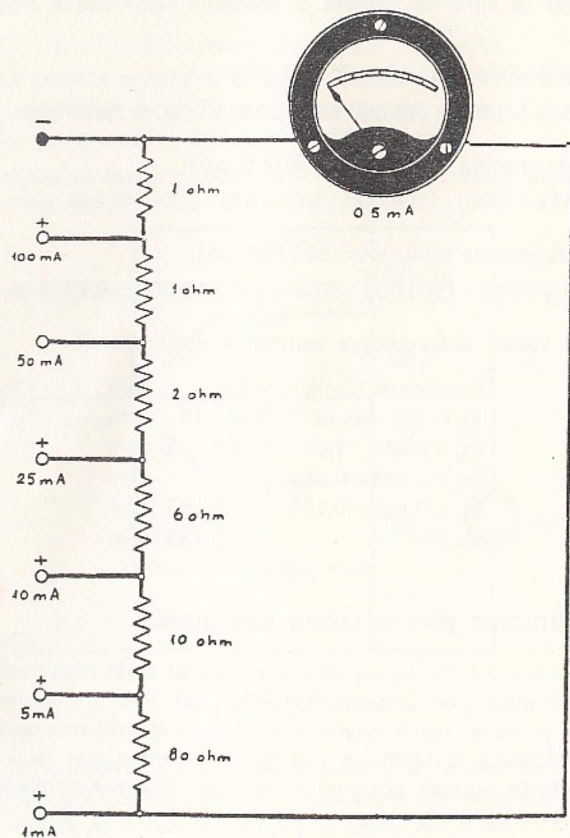


Fig. 2.6 - Schema di multimeter.

RESISTENZA TOTALE. — È determinata dalla portata minore, quella di 1 mA, alla quale corrisponde il rapporto $n = 1000 : 500 = 2$, in cui 1000 è la portata (1 mA = 1000

microampere) e 500 è la sensibilità dello strumento. La formula è quella nota, ossia:

$$\text{Resistenza totale} = \text{Resistenza interna} : (n - 1)$$
$$= 100 \text{ ohm} : (2 - 1) = 100 \text{ ohm.}$$

PORTATA 5 mA - Il rapporto n è $5000 : 500 = 10$. La formula da usare è:

$$(\text{Resistenza totale} + \text{Resistenza interna}) : n$$
$$(100 \text{ ohm} + 100 \text{ ohm}) : 10 = 200 : 10 = 20 \text{ ohm.}$$

PORTATA 10 mA - Il rapporto è 10 000 : 500 = 20
200 : 20 = 10 ohm

PORTATA 25 mA - Il rapporto è 25 000 : 500 = 50
200 : 50 = 4 ohm

PORTATA 50 mA - Il rapporto è 50 000 : 500 = 100
200 : 100 = 2 ohm

PORTATA 100 mA - Il rapporto è 100 000 : 500 = 200
200 : 200 = 1 ohm.

Le resistenze shunt per le varie portate, collegate in serie, sono perciò le seguenti:

Resistenza I	portata:	100 — 20 = 80 ohm
Resistenza II	portata:	20 — 10 = 10 ohm
Resistenza III	portata:	10 — 4 = 6 ohm
Resistenza IV	portata:	4 — 2 = 2 ohm
Resistenza V	portata:	2 — 1 = 1 ohm
Resistenza VI	portata:	1 ohm.

Il valore complessivo è: 80+10+6+2+1+1=100 ohm, come richiesto.

La corrente che percorre lo strumento è sempre di 0,5 mA quando l'intensità di corrente misurata è la massima corrispondente a ciascuna portata.

Riassunto moltiplicazione lettura:

Portata 1 mA	× 2
Portata 5 mA	× 10
Portata 10 mA	× 20
Portata 25 mA	× 50
Portata 50 mA	×100
Portata 100 mA	×200

Poichè la scala sul quadrante dello strumento è graduata da 0 a 0,5 mA, se è inserita la portata 1 mA, tutte le indicazioni vanno moltiplicate per 2; se è inserita la portata 5 mA, vanno moltiplicate per 10, così via.

CAPITOLO TERZO

MISURE DI TENSIONE

Il volt e il voltmetro.

La *tensione elettrica* viene indicata con il simbolo costituito dalla lettera *E*. Per misurarla viene adoperato, per convenzione internazionale, il *volt* (abbr. V) quale unità di misura. Sono in uso i seguenti multipli e sottomultipli del volt:

chilovolt . . . . . . mille volt;
millivolt . . . . millesimo di volt;
microvolt . . . . . milionesimo di volt.

Le abbreviazioni sono: kV per chilovolt, mV per millivolt e μV per microvolt.

La tensione è in rapporto con altre due grandezze elettriche fondamentali, l'*intensità di corrente* e la *resistenza elettrica*. Tale rapporto è determinato dalla Legge di Ohm, ed è il seguente:

Tensione in volt = Corrente in ampere × Resistenza in ohm.

La tensione si misura con il *voltmetro*. Non esiste però alcun strumento in grado di indicare direttamente la tensione elettrica. È senz'altro possibile utilizzare uno strumento indicatore di corrente per effettuare con esso misure di tensione, questo data la relazione esistente tra corrente e tensione.

Lo strumento può essere un milliamperometro; in tal caso la relazione è la seguente:

Tensione in volt=
=Corrente in milliampere × Resistenza in chiloohm.

Se la resistenza è di 1 chiloohm e la corrente è di 1 milliampere, risulta:

$$\text{Tensione} = 1 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ volt}.$$

È sufficiente che la resistenza sia sempre la stessa, collegata in serie al milliamperometro, per ottenere varie misure di tensione. Se la corrente è di 10 milliampere, la tensione è di:

$$\text{Tensione} = 10 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 10 \text{ volt}.$$

Inoltre, se la corrente scende a 0,1 milliampere, la tensione che l'ha determinata è di:

$$\text{Tensione} = 0{,}5 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 0{,}5 \text{ volt}.$$

Qualora venga utilizzato un microamperometro, la relazione è la seguente:

Tensione in volt=
=Corrente in microampere × Resistenza in megaohm.

Se, ad es., la corrente è di 1 microampere, la tensione è:

Tensione = 1 microampere × 1 megaohm = 1 volt.

Se è di 10 microampere, la tensione è di 10 volt, e se invece è di 0,5 microampere la tensione è di 0,5 volt.

Il milliamperometro viene usato, generalmente, per misure da 1 volt a 1000 volt, nella pratica radiotecnica; il microamperometro per quelle da 1 millivolt a 1 volt. È possibile usare il microamperometro anche per la misura di tensioni elevate, sino a 1000 volt. È perciò preferito, benché sia più delicato e più costoso del milliamperometro.

Inoltre è anche nell'uso pratico utilizzare lo stesso strumento sia per misure di corrente sia per misura di tensione. È infatti sufficiente escludere la resistenza, per convertire il voltmetro nell'originario milliamperometro o microamperometro.

USO DEL VOLTMETRO. — Mentre lo strumento indicatore di corrente va posto in serie al circuito, il voltmetro va collegato in parallelo. Va inoltre rispettata la sua polarità, in modo che la corrente lo attraversi in un solo senso, quello che fa deviare l'indice dall'inizio della scala graduata verso la fine. A tale scopo, il voltmetro è provvisto di due prese, una *positiva* (indicata con il colore rosso o con il segno +) e una *negativa* (indicata con il colore nero o il segno —).

Se, ad esempio, si tratta di misurare la tensione di una pila, il voltmetro va collegato ai due poli di essa, questo con due conduttori isolati, contenuti in un unico cavetto, provvisti alle estremità di due spine, una rossa e una nera. Sono i puntali del voltmetro.

Le tre *portate* del voltmetro più comuni sono: sino a 10 V, sino a 100 V e sino a 1000 volt. A ciascuna portata corrisponde una resistenza in serie. Il passaggio da una portata all'altra si ottiene con un commutatore a tre posizioni, oppure con tre prese a boccola, segnate +10 V, +100 V e +1000 V. Una quarta boccola, nera, è indicata con il segno —. È quella comune a tutte le tre portate.

I voltmetri con commutatore hanno due sole prese, una rossa (+) e una nera (—).

Il voltmetro semplice, costituito da uno strumento di misura e da alcune resistenze fisse (tante quante sono le portate) è adatto soltanto per *misure di tensione continua*.

Poichè gli apparecchi radio, i televisori, i registratori magnetici, gli amplificatori e, in genere, le apparecchiature elettroniche, funzionano con tensioni continue, il voltmetro risulta di gran lunga lo strumento più utile nel laboratorio radiotecnico e elettronico. È, infatti, con il voltmetro che si

possono individuare gli eventuali guasti in un apparecchio, nella maniera più rapida e sicura. Gli altri strumenti completano il voltmetro, nessuno può sostituirlo.

Tipi di voltmetri.

I voltmetri possono venir distinti in due gruppi:

a) voltmetri per misure in volt;

b) voltmetri per misure in millivolt.

Quelli del gruppo *b*) sono detti *millivoltmetri*. Un tempo si usavano soltanto voltmetri adatti per misure in volt, ma da quando sono in uso i transistor e i circuiti integrati, vengono adoperati quasi unicamente i millivoltmetri, questo poichè con essi sono possibili tutte le misure effettuabili con i voltmetri comuni (sino a 1000 volt) più misure di tensioni molto deboli, sino ad un centesimo di millivolt.

I voltmetri (e i millivoltmetri) possono venir suddivisi in altri tre gruppi:

a) per tensioni continue;

b) per tensioni alternate;

c) per tensioni continue e alternate.

Non è però la misura della tensione alternata quella che ha qualche importanza, bensì la misura delle *tensioni alternative*, ossia quella dei segnali audio presenti all'uscita dell'apparecchio in esame. Il principio di funzionamento è lo stesso. Per misure di tensione alternata e di tensioni alternative viene utilizzato un *raddrizzatore a diodi*, tale da convertirle in tensioni continue.

Un'altra suddivisione molto importante è la seguente:

a) strumenti senza amplificazione;

b) strumenti con amplificazione.

Quelli del gruppo *b*) sono provvisti di un amplificatore a transistor o a circuito integrato, per cui sono *elettronici*.

È evidente che la tensione da misurare può venir amplificata prima di essere applicata allo strumento di misura. In tal modo si possono misurare, con il *voltmetro elettronico*, anche tensioni debolissime, per di più con precisione elevata.

Infine i voltmetri si possono classificare in altri due gruppi:

a) voltmetri con scala e indice mobile;

b) voltmetri digitali.

I *digitali* non hanno il solito quadrante con scala e indice. Cifre luminose indicano la tensione, con un numero preceduto dal segno + o —, con l'eventuale virgola per i decimali.

Principio del voltmetro a più portate.

Il valore della resistenza da collegare in serie allo strumento di misura (milliamperometro o microamperometro) per poter effettuare con esso misure di tensione, dipende da:

a) sensibilità dello strumento di misura;

b) tensione massima da misurare.

La *sensibilità dello strumento* può variare molto. Sono in uso strumenti da 1 mA, da 5 mA, da 10 mA, da 50 mA e da 100 mA, e altri più sensibili da 0,5 mA, 0,1 mA e 0,05 mA (ossia da 500, 100 o 50 microampere).

Più sensibile è lo strumento, più piccole sono le tensioni che si possono misurare, e più precisa è l'indicazione che può fornire.

La tensione massima da misurare dipende dalle misure che si prevede di dover effettuare. In genere però una sola tensione massima non è mai sufficiente; sono necessarie più di una.

La tensione massima è quella indicata quando l'indice si sposta sino all'estremità della *scala graduata* disegnata sul *quadrante* dello strumento di misura.

Se, ad esempio, viene utilizzato uno strumento da 10 milliampere, la sua scala risulta graduata come se si trattasse di 10 cm. È quella di fig. 1.9. Se lo strumento viene utilizzato come voltmetro da 10 volt massimi, la graduazione della scala indica direttamente la tensione in volt.

Se, invece, viene utilizzato come voltmetro da 100 volt, allora la « lettura » va moltiplicata per 10. L'indice in posizione 5 (centro scala) segna $5 \times 10 = 50$ volt.

È importante che il voltmetro sia adatto per più tensioni massime e non già per una sola, ad es. quella di 100 volt. Solo con più portate è possibile effettuare letture precise. La tensione di 4,5 volt si può leggere bene sulla portata di 10 volt, mentre risulta assai incerta su quella di 100 volt. Altrettanto avviene per la tensione, ad es., di 0,45 volt, ben leggibile solo sulla portata di 1 volt.

VALORE DELLA RESISTENZA. — Come si è detto, è sufficiente collegare in serie allo strumento di misura una resistenza di valore adatto, per misure di tensione. Il valore della resistenza in ohm è ottenuto con la formula seguente:

$$\frac{\text{Tensione massima in volt}}{\text{Sens. strum. in milliampere}} \times 1000$$

Se, ad es., la tensione massima misurabile, quella corrispondente allo spostamento dell'indice a fine scala, è di 1 volt, e la sensibilità dello strumento è di 1 milliampere, come in fig. 3.1 (in alto), la resistenza deve essere di:

$$(1 \text{ volt} : 1 \text{ milliampere}) \times 1000 = 1000 \text{ ohm}$$

ossia 1 chiloohm ($= 1$ kΩ).

Se la tensione massima misurabile è di 10 volt, la resistenza è di

$$(10 \text{ volt} : 1 \text{ milliampere}) \times 1000 = 10\,000 \text{ ohm}$$

ossia 10 chiloohm ($= 10$ kΩ).

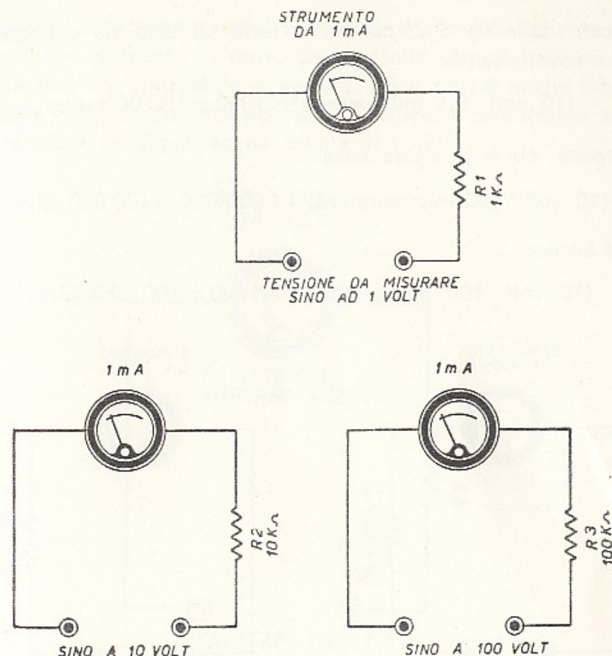


Fig. 3.1 - Tre diverse resistenze, in serie allo stesso milliamperometro da 1 mA, consentono tre portate di misure di tensione.

Infine, se la tensione è di 100 volt, la resistenza da collegare in serie allo strumento è di:

$$(100 \text{ volt} : 1 \text{ milliampere}) \times 1000 = 100\,000 \text{ ohm}$$

ossia 100 chiloohm ($= 100$ kΩ).

Con strumenti di sensibilità maggiore, il valore della resistenza in serie è anch'esso corrispondentemente maggiore.

Lo strumento di misura da 100 microampere consente di effettuare misure di tensione sino a 100 volt, come in-

dicato dalla fig. 3.2, purchè in serie ad esso sia collegata una resistenza di:

(10 volt : 0,1 milliampere) × 1000 = 100 000 ohm

oppure, ed è la stessa cosa:

(10 volt : 100 microampere) × 1 000 000 = 100 000 ohm

ed anche:

(10 volt : 100 microampere) × 1000 = 100 chiloohm.

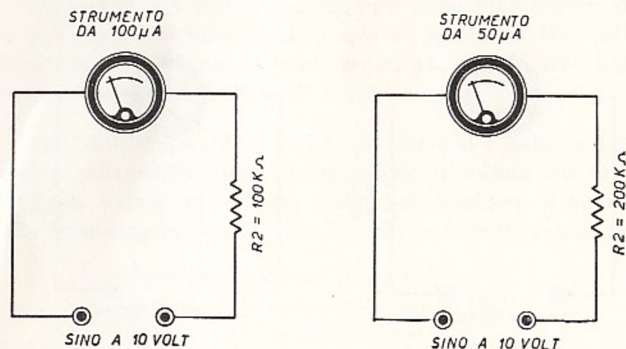


Fig. 3.2 - Il valore della resistenza in serie (R 2) dipende dalla sensibilità dello strumento, per la stessa portata.

Nella stessa figura è fatto l'esempio di uno strumento molto sensibile, da 50 microampere in serie con una resistenza di 200 chiloohm, adatto per misure sino a 10 volt. Il valore della resistenza risulta infatti:

(10 volt : 50 microampere) × 1000 = 200 chiloohm.

RESISTENZA INTERNA DELLO STRUMENTO. — Come detto nel capitolo precedente, lo strumento di misura ha

una certa resistenza interna. Essa si somma con la resistenza che viene collegata in serie. Questo fatto si può trascurare se la tensione misurabile è elevata, ed è perciò anche alto il valore della resistenza aggiunta. Va invece considerato se la tensione è esigua, ad es. quella di 1 volt.



Fig. 3.3 - Per portate basse, ad es. sino ad 1 volt, occorre tener conto della resistenza interna dello strumento.

La fig. 3.3 indica uno strumento da 1 mA, adatto per misure di tensione sino ad 1 V. La resistenza interna dello strumento è di 100 ohm. La resistenza di 1000 ohm, risultante dalla formula, deve venir ridotta a 1000-100 ohm = 900 ohm.

La resistenza interna di uno strumento da 100 microampere può essere di 2000 ohm, di 1600 ohm, di 1000 ohm o anche di 800 ohm.

È necessario conoscere la resistenza interna dello strumento di misura per poterlo usare correttamente.

Il voltmetro con commutatore di portata.

Per poter passare da una portata all'altra è necessario poter inserire la resistenza in serie adatta. È quanto si ottiene con il commutatore di portata, costituito da un inseritore ad una via ed a più posizioni, comandabile con una manopolina.

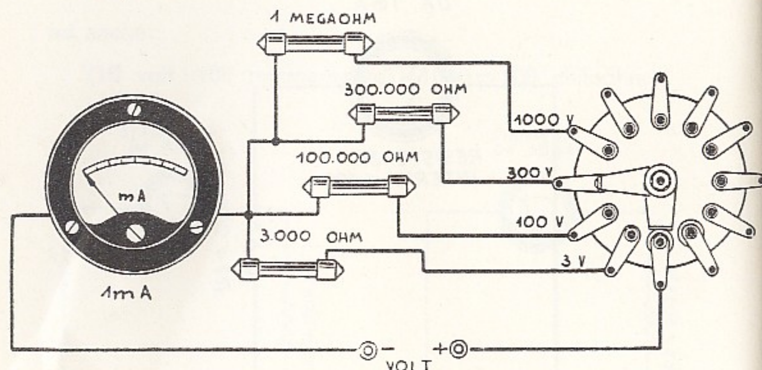


Fig. 3.4 - Schema di voltmetro a quattro portate, ottenuto mediante milliamperometro da 1 mA.

Un esempio è quello di fig. 3.4. È utilizzato uno strumento da 1 mA per misure di tensione continua su quattro portate, le seguenti:

3 volt 100 volt 300 volt 1000 volt.

Il valore delle quattro resistenze risulta come segue:

Portata 3 V	(3 V : 1 mA) × 1000 =	3000 ohm
Portata 100 V	(100 V : 1 mA) × 1000 =	100 000 ohm
Portata 300 V	(300 V : 1 mA) × 1000 =	300 000 ohm
Portata 1000 V	(1000 V : 1 mA) × 1000 =	1 megaohm.

Se la resistenza interna del milliamperometro è di 27 o di 50 ohm, può venir trascurata; nel caso sia di 100 ohm è necessario ridurre il valore della prima resistenza da 3000 ohm a 2900 ohm.

Tutte le resistenze indicate sono al 2 % di tolleranza.

POTENZA DISSIPATA NELLE RESISTENZE. — Le resistenze dissipano una certa potenza in calore, per cui devono essere adeguate alla corrente che le percorre e alla tensione ad esse applicata, ossia devono essere di una certa *potenza* indicata in watt. Se la potenza non è sufficiente si riscaldano e si interrompono.

La potenza in watt è facilmente calcolabile. È data dalla relazione:

$$\text{Potenza in watt} = \frac{\text{Tensione in volt al quadrato}}{\text{Resistenza in ohm}}.$$

La potenza dissipata nelle quattro reistenze è perciò la seguente:

Portata 3 V:	3^2: 3000 = 0,003 watt
Portata 100 V:	100^2: 100 000 = 0,1 watt
Portata 300 V:	300^2: 300 000 = 0,3 watt
Portata 1000 V:	1000^2: 1 000 000 = 1 watt.

Le due prime resistenze possono essere da 1/4 di watt, la terza da 1/2 watt e la quarta da 2 watt.

Un altro esempio di voltmetro con commutatore è quello di fig. 3.5. Le portate sono sei, ottenute con altrettante resistenze.

Lo strumento di misura è ancora un milliamperometro da 1 mA.

Poichè la portata minima è di 1 volt, è necessario tener conto della resistenza interna dello strumento. È di 55 ohm. Altrettanto è opportuno per la portata seguente, quella di 10 volt.

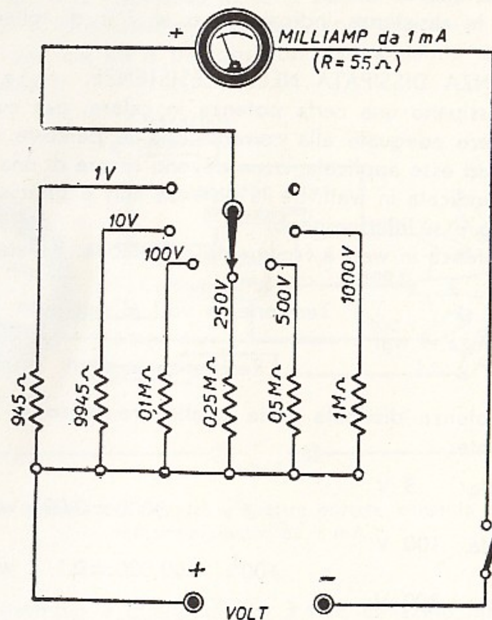


Fig. 3.5

Le sei portate voltmetriche e le rispettive resistenze sono le seguenti:

Portata 1 V (1 : 1) × 1000 = 1000 − 55 = 945 ohm
Portata 10 V (10 : 1) × 1000 = 10 000 − 55 = 9945 ohm
Portata 100 V (100 : 1) × 1000 = 100 chiloohm
Portata 250 V (250 : 1) × 1000 = 250 chiloohm
Portata 500 V (500 : 1) × 1000 = 500 chiloohm
Portata 1000 V (1000 : 1) × 1000 = 1 megaohm.

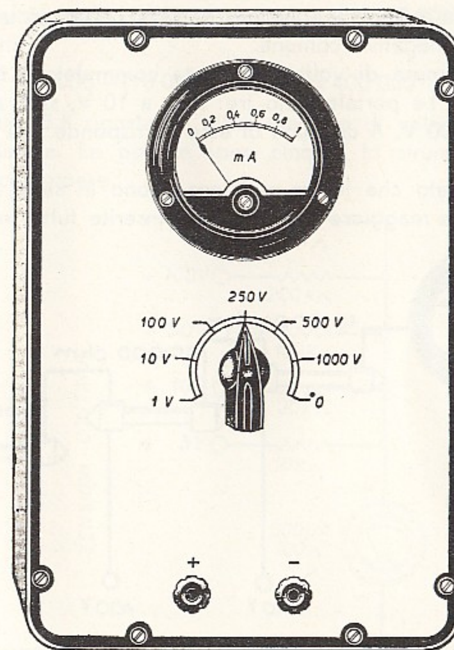


Fig. 3.6

L'aspetto del voltmetro è quello di fig. 3.6. Il commutatore è a sette posizioni, sei per le portate e una « fuori ».

Il voltmetro senza commutatore.

Il commutatore è generalmente usato nella maggior parte dei tester e degli analizzatori. Occupa però un certo spazio e non risulta adatto per voltmetri molto piccoli, da taschino, utili per il servizio esterno. Può venir sostituito con

delle prese a boccola, una per portata, rosse più una nera, quella del negativo comune.

Un esempio di voltmetro senza commutatore è quello di fig. 3.7. Le portate sono tre: sino a 10 V, sino a 100 V e sino a 500 V. A ciascuna di esse corrisponde una boccola rossa (+).

Va notato che le tre resistenze sono in serie, per cui alla portata maggiore (500 V) sono inserite tutte tre. Il va-

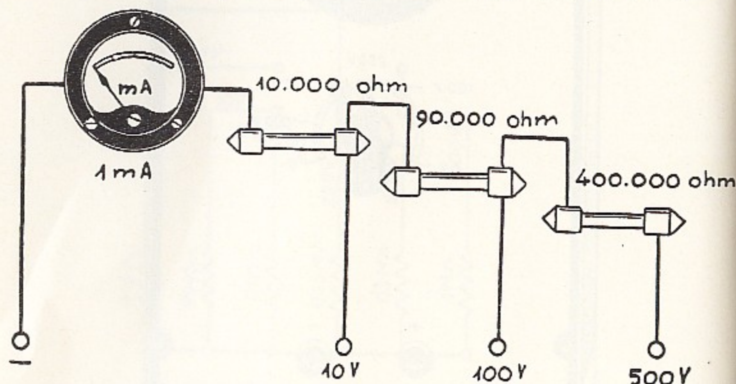


Fig. 3.7 - Schema di voltmetro a 3 portate, con resistenze in serie.

lore di ciascuna di esse può venir calcolato in modo molto semplice.

Si cerca anzitutto il valore della resistenza minore, quella della portata 10 V. Poichè lo strumento è da 1 mA, essa è di 10 000 ohm.

Si cerca quindi il valore della seconda resistenza. È dato da:

$$(100\ \text{V} : 1\ \text{mA}) \times 1000 = 100\ 000\ \text{ohm}$$

quindi si detrae da esso il valore della prima resistenza:

$$100\ 000\ \text{ohm} - 10\ 000\ \text{ohm} = 90\ 000\ \text{ohm}.$$

Il valore della terza resistenza è di 500 000 ohm, per cui risulta:

$$500\ 000 - (10\ 000 + 90\ 000) = 400\ 000\ \text{ohm}.$$

La fig. 3.8 riporta un altro esempio di voltmetro senza commutatore. Le portate sono cinque, lo strumento è da 500 microampere.

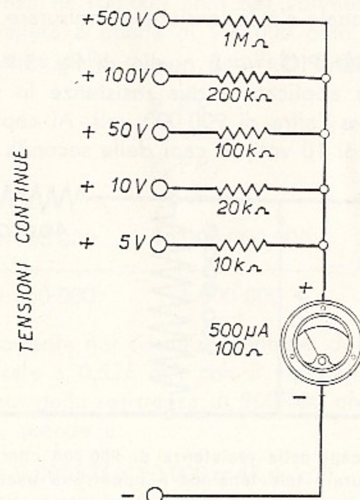


Fig. 3.8

Le cinque resistenze non sono in serie, come nell'esempio precedente. Alla prima portata, quella di 5 V, corrisponde la resistenza di:

$$(5 : 500) \times 1000 = 10\ \text{chiloohm}.$$

Quella della seconda è di 10 kΩ × 2 = 20 kΩ, quella della terza è di 10 × 10 = 100 kΩ, quella della quarta 10 × 20 = 200 kΩ e quella della quinta 10 × 100 = 1000 chiloohm, ossia 1 megaohm.

Errori di misura causati dal voltmetro.

Il voltmetro può alterare la tensione da misurare, e quindi fornire un'indicazione che a volte può essere completamente sbagliata.

Questo grave inconveniente è dovuto alla resistenza dello strumento. Essa viene a trovarsi in parallelo con quella ai capi della quale c'è la tensione da misurare.

PRIMO ESEMPIO. — È quello di fig. 3.9. La tensione di 100 volt è applicata a due resistenze in serie, una di 100 000 ohm e l'altra di 900 000 volt. Ai capi della prima la tensione è di 10 volt, ai capi della seconda è di 90 volt.

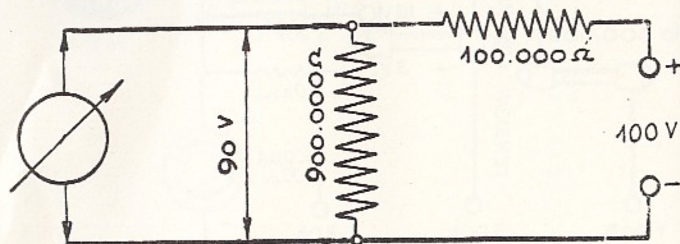


Fig. 3.9 - Ai capi della resistenza di 900 000 ohm sono applicati 90 V. Per misurare tale tensione è opportuno usare un voltmetro con portata interna sino a 1000 volt ad alta resistenza interna.

Infatti la corrente che fluisce nelle due resistenze è data dalla tensione divisa per la resistenza totale, ossia è di:

$$100 \text{ volt} : 1\,000\,000 \text{ ohm} = 0{,}0001 \text{ A} = 0{,}1 \text{ mA}.$$

Sicchè la tensione ai capi della resistenza di 100 000 ohm è di:

$$0{,}0001 \text{ A} \times 100\,000 \text{ ohm} = 10 \text{ volt}$$

mentre quella ai capi dell'altra resistenza è di:

$$0{,}0001 \text{ A} \times 900\,000 \text{ ohm} = 90 \text{ volt.}$$

Se si misura la tensione di 90 volt con un voltmetro, esso può indicare appena 47,4 volt. L'indicazione è completamente falsa.

Questo avviene se il voltmetro consiste di uno strumento da 1 mA con una resistenza di 100 000 ohm in serie, nella portata di 100 volt.

La resistenza di 100 000 ohm del voltmetro viene collegata in parallelo a quella di 900 000 ohm. Ora, la resistenza che risulta dalle due in parallelo è data da:

$$\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

per cui:

$$\frac{900\,000 \times 100\,000}{900\,000 + 100\,000} = \frac{90\,000\,000\,000}{1\,000\,000} = 90\,000 \text{ ohm.}$$

Varia la corrente nel circuito. Mentre è di 0,1 mA senza il voltmetro, sale a 0,526 mA con il voltmetro, per cui la tensione ai capi della resistenza di 900 000 ohm, più quella del voltmetro, scende a:

$$0{,}000526 \times 90\,000 = 47{,}4 \text{ volt.}$$

Quando si tratta di misurare la tensione ai capi di una resistenza di valore elevato, è opportuno usare una portata molto più alta. Se, invece della portata sino a 100 volt, viene usata quella sino a 1000 volt, il voltmetro fornisce un'indicazione meno sbagliata, dato che in tal caso la sua resistenza non è di 100 000 ohm ma è di 1 000 000 di ohm.

Per poter ottenere un'indicazione sufficientemente precisa è necessario adoperare un voltmetro con strumento da 50 microampere. La sua resistenza è la seguente:

a) portata 100 volt:

$$(100 \text{ volt} : 50 \text{ microampere}) \times 1000 = 2 \text{ megaohm}$$

b) portata 500 volt:

(500 volt : 50 microampere)×1000=10 megaohm

c) portata 1000 volt:

(1000 volt : 50 microampere)×1000=20 megaohm.

È evidente che usando la portata di 1000 volt, la lettura risulta praticamente esatta poiché alla resistenza di 900 000 ohm, ossia di 900 chiloohm, viene aggiunta in parallelo un'altra di 20 megaohm.

Anche la portata sino a 500 volt consente una lettura abbastanza precisa.

SECONDO ESEMPIO. — Le tensioni terminali dei transistor sono di valore molto basso, generalmente inferiore ai 10 volt. La resistenza di un voltmetro con strumento di misura di 1 mA è di 10 000 ohm, alla portata di 10 volt. Determina per conseguenza forti errori di lettura.

La situazione peggiora quando si tratta di misurare tensioni inferiori ad 1 volt. In tal caso la portata adatta è quella di 1 volt, ma ad essa corrisponde una resistenza di appena 1000 ohm.

Se, ad es., si vuole misurare la tensione di emittore ottenuta con una resistenza di 1000 ohm, e se si usa il voltmetro portata 1 volt, si applica a quella resistenza un'altra dello stesso valore, per cui essa scende a 500 ohm. Tutte le tensioni e le correnti del transistor risultano variate, per cui si ottiene un doppio errore.

Con un voltmetro provvisto di strumento da 50 microampere, la resistenza del quale è di 20 000 ohm, l'errore risulta molto minore poichè il circuito del transistor viene modificato solo leggermente.

È nell'uso non riferire il voltmetro alla sensibilità dello strumento bensì alla sua resistenza alla portata di 1 volt. Viene indicata con il termine *ohm per volt*.

È un *voltmetro da 1000 ohm per volt* quello il cui strumento di misura è da 1 milliampere. Ed è un *voltmetro da 20 000 ohm per volt* quello provvisto di strumento da 50 microampere.

Poichè il millivoltmetro è necessariamente provvisto di uno strumento ad alta sensibilità, generalmente da 50 microampere, è da preferire al voltmetro, tanto più che consente letture anche di tensioni elevate, generalmente sino a 500 volt.

Non è necessaria la portata di 1000 volt da utilizzare per limitare l'errore di lettura, come avviene per il voltmetro, dato che alla portata di 500 volt corrisponde una resistenza in serie di 10 milioni di ohm (10 megaohm) sufficiente per qualsiasi lettura.

Solo i *voltmetri elettronici* con circuito FET all'entrata consentono misure più precise, poichè la loro « resistenza in serie » (impedenza d'entrata) è di 20 megaohm per alcuni tipi e di 30 megaohm per altri. Di questi voltmetri è detto in un altro capitolo.

Misure di tensioni extra alte.

Il voltmetro può venir utilizzato anche per la misura della EAT (extra alta tensione) applicata al cinescopio dei televisori; in genere compresa tra i 12 000 e i 25 000 volt. Tale misura può venir effettuata sulla portata maggiore del voltmetro, ad es. quella di 1 000 volt o quella di 500 volt, e ciò tramite un adatto *puntale per EAT*.

Nell'interno del puntale vi sono alcune resistenze in serie, come indica la fig. 3.10. Esse si aggiungono alla resistenza in serie allo strumento, ossia a quella del voltmetro, e ne estendono la portata. Il voltmetro con portata ad es. sino a 500 volt, usato con puntale EAT da 25 chilovolt, risulta con la portata estesa a 25 000 volt.

Il puntale EAT è provvisto di più resistenze in serie

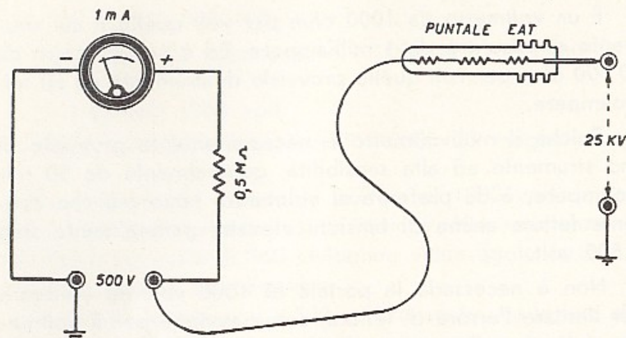


Fig. 3.10 - Il puntale EAT, provvisto di resistenze interne di caduta, consente di misurare tensioni molto elevate con un voltmetro di portata inferiore.

per rendere possibile la distribuzione della caduta di tensione, in modo da evitare la possibile formazione di archi, ciò che potrebbe verificarsi con l'uso di una sola resistenza di caduta.

CAPITOLO QUARTO

IL VOLT-MULTIMETRO

Misure di corrente e di tensione.

Le misure di corrente possono venir abbinate a quelle di tensione. Questo perchè, come detto nel capitolo precedente, il voltmetro è solo un milliamperometro (o un microamperometro) utilizzato in modo particolare. Ora, poichè le misure di tensione sono decisamente più importanti di quelle di corrente, è nell'uso dire che alle portate di un voltmetro si possono aggiungere quelle per misure di corrente.

Ne risulta un dispositivo di misura molto utile, quello che consente misure di tensione su varie portate e di corrente, anch'esse in più portate. È detto *multimetro* o meglio *volt-multimetro*. Il termine inglese è *multi range meter*.

Non esistono problemi da risolvere per unire un dispositivo per misurazioni di corrente con uno per misurazioni di tensione. Un esempio è il voltmetro a quattro portate di cui la fig. 3.4 (cap. 3°); ad esso si possono aggiungere altre quattro portate, quelle per quattro diverse intensità di corrente. Ne risulta il volt-multimetro ad otto portate, illustrato dalla fig. 4.1.

Il passaggio da una portata all'altra è ottenuto con un commutatore ad una via ed a dieci posizioni. Le due posizioni in più possono riuscire utili. Una è adatta per il collegamento diretto con lo strumento di misura, senza nessuna resistenza; l'altra è adatta per staccare lo strumento. È la posizione « fuori ».

Le prese a boccola sono tre anzichè due. Una è in comune per tutte le misure. C'è una presa per le tensioni, e

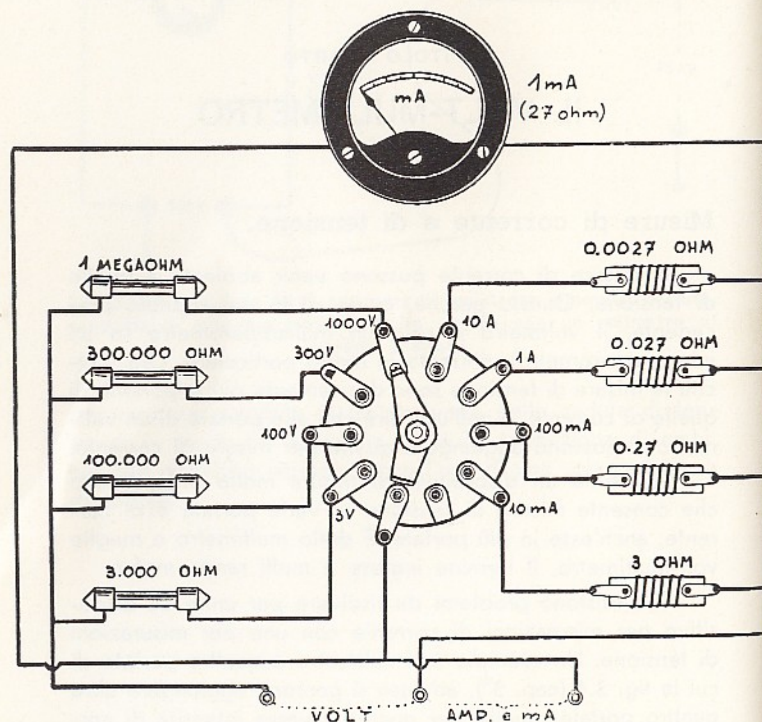


Fig. 4.1 - Schema di strumento per la misura di tensioni e di correnti continue.

una per le correnti. L'aspetto del volt-multimetro è quello di fig. 4.2.

In basso vi sono le tre prese, due rosse e una nera al centro, indicata con il segno —.

Al centro c'è il commutatore di portata del quale si vede solo la manopolina di comando. Le otto portate sono segnate direttamente sul pannello; sul retro del pannello si trovano tutte le parti componenti.

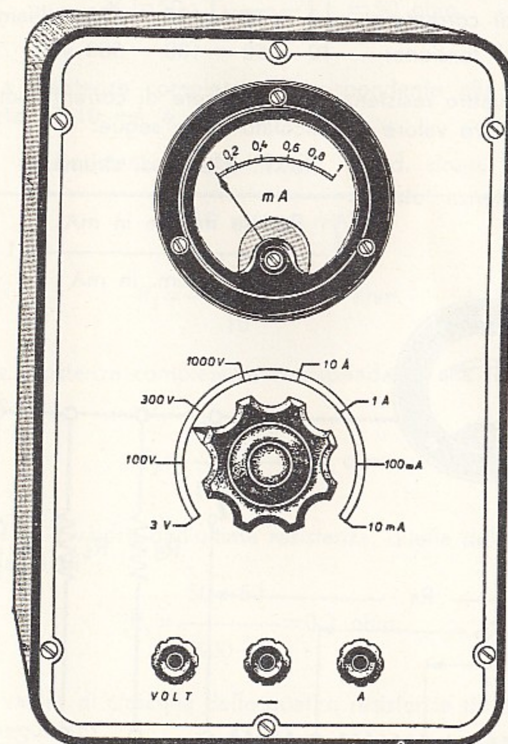


Fig. 4.2 - Aspetto esterno dello strumento di fig. 4.1.

Lo strumento è un milliamperometro da 1 mA. Le misure di tensione sono perciò effettuabili a 1000 ohm per volt.

Multimetri senza commutatore.

Quello il cui schema è riportato dalla fig. 4.3 e il cui aspetto esterno può essere quello di fig. 4.4 consente le seguenti otto portate:

Misure di corrente:	2	10	100	500 milliampere
Misure di tensione:	10	50	100	500 volt.

Le quattro resistenze per le misure di corrente sono in serie. Il loro valore va calcolato come segue:

$$\text{Resistenza totale} = \frac{\text{Resist. interna d. strumento}}{\left(\dfrac{\text{Portata minore in mA}}{\text{Sens. strum. in mA}} - 1\right)}$$

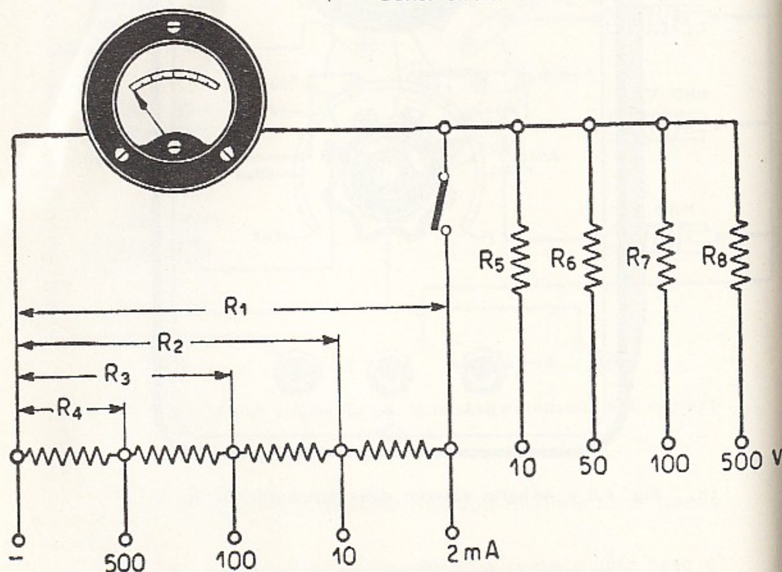


Fig. 4.3 - Multimetro senza commutatore.

Lo strumento è da 1 mA, la sua resistenza interna è di 50 ohm. La portata minore è quella di 2 mA, per cui la resistenza complessiva delle quattro resistenze in serie è di:

$$R_1 = 50 : \left(\frac{2}{1} - 1\right) = 50 \text{ ohm.}$$

La resistenza complessiva corrispondente alla seconda portata, di 10 mA è data da:

$$\frac{\text{Resistenza totale} + \text{Resist. int. d. strum.}}{(10 \text{ mA} : 1 \text{ mA})}$$

$$R_2 = \frac{50+50}{10} = 10 \text{ ohm.}$$

La resistenza complessiva corrispondente alla terza portata è di:

$$R_3 = \frac{50+50}{(100 : 1)} = 1 \text{ ohm.}$$

Infine il valore dell'ultima resistenza, quella della quarta portata, è di:

$$R_4 = \frac{50+50}{(500 : 1)} = 0{,}2 \text{ ohm.}$$

Il valore di ciascuna delle quattro resistenze risulta quindi il seguente:

prima resistenza = 50 ohm − 10 ohm = 40 ohm
seconda resistenza = 10 ohm − 1 ohm = 9 ohm
terza resistenza = 1 ohm − 0,2 ohm = 0,8 ohm
quarta resistenza = 0,2 ohm.

Il valore complessivo è quello richiesto, essendo

$$40+9+0,8+0,2=50 \text{ ohm.}$$

Il valore delle quattro resistenze per le portate di 10 V, 50 V, 100 V e 500 V è quello ben noto, essendo lo strumento da 1 mA. Come detto nel capitolo secondo, è di:

$R_5 = 10$ chiloohm $\quad R_6 = 50$ chiloohm
$R_7 = 100$ chiloohm $\quad R_8 = 500$ chiloohm.

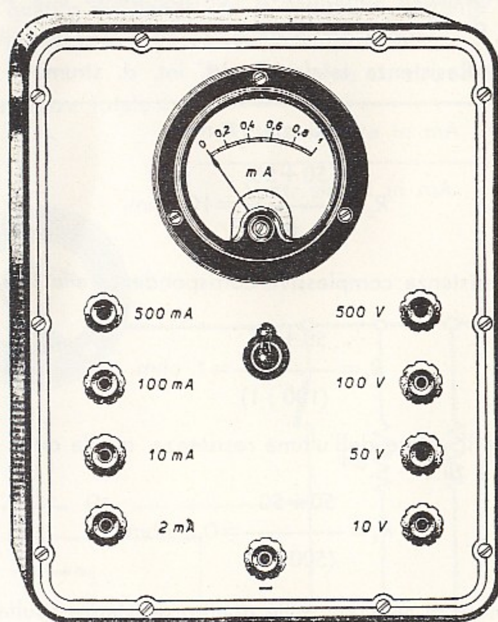


Fig. 4.4

Per evitare che le resistenze delle portate di corrente risultino tutte collegate in parallelo allo strumento durante le misure di tensione, e riducano in tal modo il valore ohm per volt del voltmetro, è necessario aprire l'interruttore.

Volt-multimetro con microamperometro.

La fig. 4.5 riporta lo schema di un volt-multimetro con strumento da 500 microampere, la resistenza interna del quale è di 100 ohm.

È adatto per 6 portate di misura di corrente e 5 di tensione.

Il volt-multimetro è del tipo senza commutatore. È perciò provvisto di morsetti a boccola.

CALCOLO DELLE CORRENTI

Vi sono sei resistori derivati (uno per portata) in serie tra loro, ed il cui valore complessivo è di 100 ohm. Quando tra questi due morsetti è presente l'intensità di 1 mA, essa si divide in due parti eguali, di 0,5 mA ciascuna, quindi l'indice dello strumento fornisce la massima indicazione: 1 mA.

Tra il morsetto comune e quello segnato « 5 mA » sono presenti 5 resistori, del valore complessivo di 20 ohm; il resistore escluso, quello di 80 ohm, viene a trovarsi in serie con la resistenza interna dello strumento, la quale da 100 ohm passa a 180 ohm. Utilizzando le note formule risulta che la corrente di 5 mA si dovrà dividere in due della seguente intensità:

a) Corrente nella resistenza di 20 ohm =

$$= 5 \frac{180}{180 + 20} = 5 \times 0,9 = 4,5 \text{ mA.}$$

b) Corrente nella resistenza di 180 ohm =

$$= 5 \frac{20}{180 + 20} = 5 \times 0,1 = 0,5 \text{ mA.}$$

Quando è presente la corrente di 5 mA, lo strumento è percorso da 0,5 mA, e l'indice è a fondo scala.

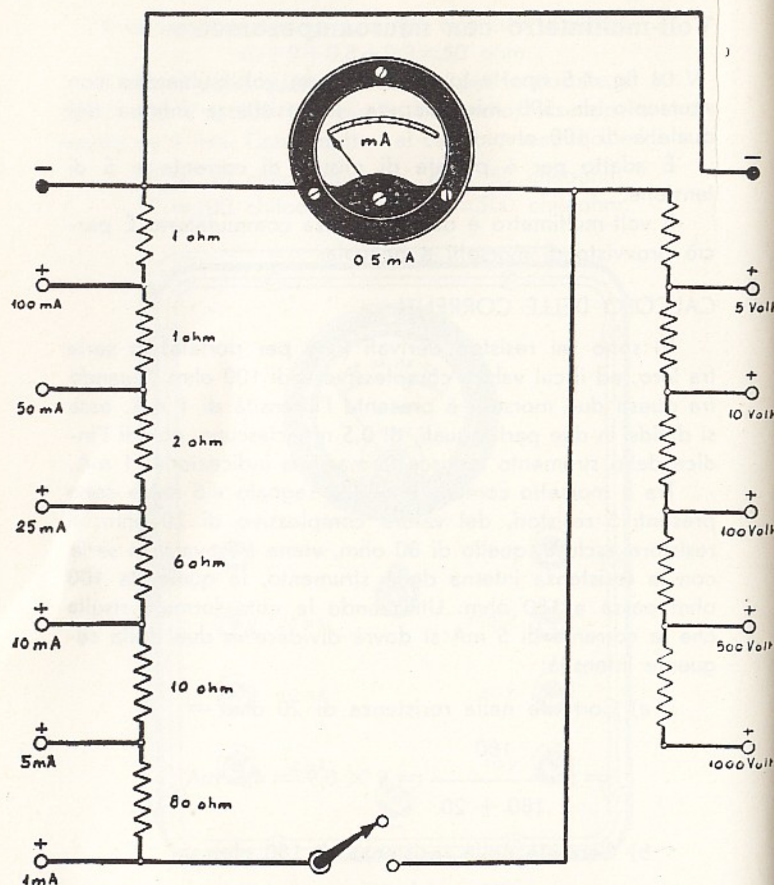


Fig. 4.5

Così per tutte le altre portate. Per quella di 10 mA, le resistenze sono di 10 ohm (ossia 1 + 1 + 2 + 6 ohm) e di 190 ohm (ossia 100 + 80 + 10 ohm); l'intensità di 10 mA

si divide nelle due parti seguenti:

a) Corrente nella resistenza di 10 ohm =

$$= 10 \frac{190}{200} = 9{,}5 \text{ mA.}$$

b) Corrente nella resistenza di 190 ohm =

$$= 10 \frac{10}{200} = 0{,}5 \text{ mA.}$$

La corrente che percorre lo strumento è sempre di 0,5 mA quando l'intensità di corrente misurata è la massima corrispondente a ciascuna portata.

CALCOLO DEI RESISTORI PER LE PORTATE DI CORRENTE

Si calcola anzitutto il resistore derivato per la PORTATA MINORE, *come se fosse la sola esistente*, poi si calcolano le prese necessarie per le altre portate, con il metodo della proporzione. Se, come in fig. 4.5, la sensibilità dello strumento è di 0,5 mA, la resistenza interna è di 100 ohm, il resistore derivato totale per la portata minore di 1 mA, quale dovrebbe essere se questa fosse la sola portata, è dato da:

$$\text{Resistore derivato totale} = \frac{\text{Resistenza interna}}{\text{Rapporto di moltiplic.} - 1}$$

Il rapporto di moltiplicazione è dato da portata minore : portata dello strumento, ossia 1 : 0,5 = 2, sicchè

$$\text{Resistore derivato per 1 mA} = \frac{100}{2 - 1} = 100 \text{ ohm.}$$

Se oltre a questa portata di 1 mA (i_1) vi è un'altra portata qualsiasi, il resistore (R_1) di 100 ohm dovrà venir diviso in due parti. Se la seconda portata è di 5 mA (i_2) il valore del resistore (R_2) risulta dalla proporzione seguente:

$$R_2 : R_1 = i_1 : i_2$$

ossia:

$$R_2 = \frac{R_1 \times i_1}{i_2} = \frac{100 \times 1}{5} = 20 \text{ ohm.}$$

Il resistore di 100 ohm dovrà essere costituito da due parti, una di 20 e l'altra di 80 ohm. Se è necessaria una terza portata, per es. per 10 mA (i_3), saranno necessarie tre resistenze in serie del valore complessivo di 100 ohm, e il valore del terzo resistore (R_3) risulterà dalla solita proporzione:

$$R_3 = \frac{R_1 \times i_1}{i_3} = \frac{100 \times 1}{10} = 10 \text{ ohm.}$$

In tal caso il resistore di 100 ohm dovrà essere costituito da un resistore di 10 ohm, da un altro di 10 ohm e da un terzo di 80 ohm.

Se è necessaria una quarta portata a 25 mA (i_4) è necessario un quarto resistore (R_4)

$$R_4 = \frac{R_1 \times i_1}{i_4} = \frac{100 \times 1}{25} = 4 \text{ ohm.}$$

Sarà necessario un resistore costituito da quattro parti: 4, 6, 10 e 80 ohm.

Se sono necessarie altre due portate, una a 50 mA (i_5) e l'altra a 100 mA (i_6) saranno necessari altri due resistori, R_5 e R_6

$$R_5 = \frac{100 \times 1}{50} = 2 \text{ ohm} \qquad R_6 = \frac{100 \times 1}{100} = 1 \text{ ohm.}$$

In tal caso il resistore dovrà essere costituito da sei parti, le seguenti: 1 + 1 + 2 + 6 + 10 + 80 ohm, appunto come in fig. 4.5.

Per le PORTATE VOLTMETRICHE sono necessari i seguenti resistori:

Portata voltmetrica	Valore del resistore
5 volt	4 900 ohm
10 volt	5 000 ohm
100 volt	90 000 ohm
500 volt	400 000 ohm
1000 volt	500 000 ohm

Poichè la sensibilità dello strumento è di 0,5 mA, e poichè a tale sensibilità corrisponde, come si è visto, il valore di 2000 ohm per volt, può sembrare che i valori indicati siano metà di quelli necessari; ciò sarebbe vero se ai capi dello strumento non fossero sempre presenti i resistori derivati.

È necessario un interruttore per poter staccare le sei resistenze in parallelo allo strumento durante le misure di tensione.

Volt-multimetro da 20 000 ohm per volt.

Per poter effettuare precise misure di tensione, anche ai capi di resistenze di valore molto elevato, tensioni di base, ecc., è necessario un multimetro con uno strumento da 50 microampere, tale da consentire letture di tensione con la resistenza interna di 20 000 ohm per volt.

La fig. 4.6 riporta lo schema di volt-multimetro, provvisto di strumento da 50 microampere, con quattro portate

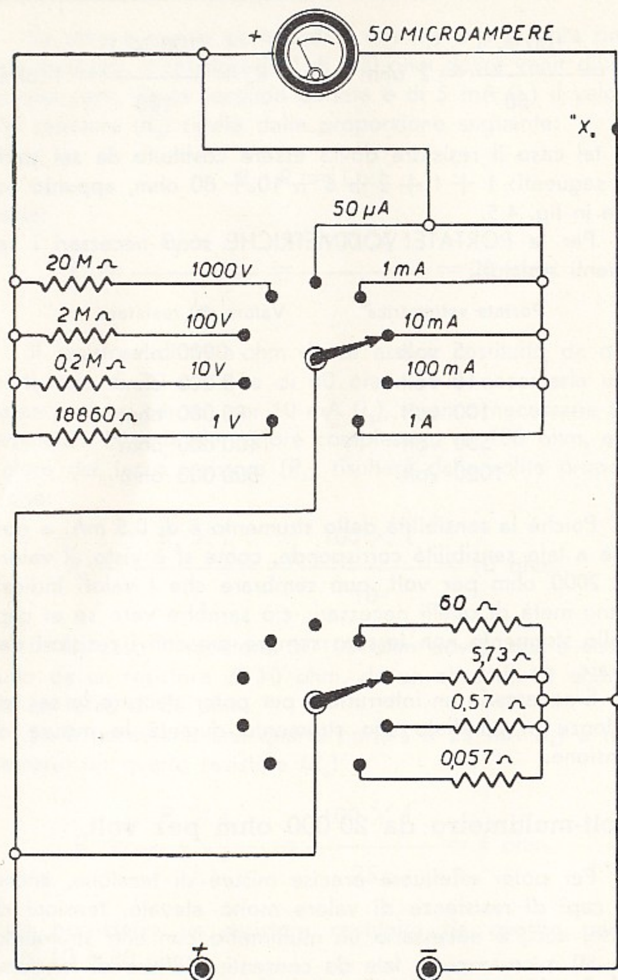


Fig. 4.6 – Schema di volt-milliamperometro, ottenuto con uno strumento da 50 microampere, con quattro portate per misure di tensione e cinque portate per misure di corrente.

voltmetriche (1 volt, 10 volt, 100 volt e 1000 volt) e con cinque portate per misure di corrente (50 μA, 1 mA, 10 mA, 100 mA e 1000 mA).

La resistenza interna dello strumento da 50 microampere è di 1140 ohm, nell'esempio fatto. Altri strumenti da 50 μA possono avere una diversa resistenza interna, ad es. 2000 ohm. È necessario conoscere la resistenza interna del microamperometro a disposizione.

La resistenza relativa alla portata di 1 volt è di 18 860 ohm, ossia 20 000—1140 ohm. Per le altre tre portate non è praticamente possibile tener conto della resistenza interna dello strumento, quindi le altre tre resistenze sono di 200 000 ohm, di 2 megaohm e di 20 megaohm.

Per le portate di corrente, le quattro resistenze indicate si riferiscono alla resistenza interna di 1140 ohm. Con strumento di altra resistenza interna, le quattro resistenze vanno calcolate. Nell'esempio fatto, la resistenza che viene posta in parallelo allo strumento, nella portata di 1 mA (= 1000 microampere), è di 60 ohm; infatti:

$$\text{Resistenza interna} : \frac{\text{Portata maggiore}}{\text{Portata minore}} - 1 = $$

$$= 1140 : 19 = 60 \text{ ohm.}$$

Se risulta opportuno avere a disposizione una resistenza interna diversa, ad es. quella di 2000 ohm, al posto di quella di 1140 ohm, per utilizzare altre resistenze, basta inserire nel punto X, indicato in figura, la resistenza complementare. Tale resistenza è di 860 ohm se dal valore di 1140 si vuol passare a quello di 2000 ohm. In tal caso le resistenze in parallelo vanno calcolate in base alla resistenza interna di 2000 ohm.

CAPITOLO QUINTO

MISURE DI RESISTENZA

Principio basilare.

L'unità di misura della resistenza è l'*Ohm* (Ω). Per le resistenze di valore molto elevato si adopera il *chiloohm* (kΩ) che corrisponde a 1000 ohm, oppure il *megaohm* (MΩ) che corrisponde al milione di ohm. I sottomultipli dell'ohm sono poco usati.

Le misure di resistenza vengono effettuate approfittando della legge di Ohm, per la quale il valore di resistenza è dato dal quoziente tensione/intensità di corrente.

Dalla misura della *tensione* (*E*) applicata ad un resistore e da quella dell'*intensità di corrente* (*I*) presente nel resistore stesso si ricava il valore di *resistenza* (*R*), ossia il valore in ohm del resistore. Se la tensione è di 4,5 V, fornita da una batteria di pile, e se l'intensità di corrente è di 0,001 A, ossia 1 mA, la resistenza è di

$$R = \frac{E}{I} = \frac{4{,}5 \text{ volt}}{0{,}001 \text{ ampere}} = 4\,500 \text{ ohm}$$

La fig. 5.1 indica un milliamperometro da 1 mA in serie con un resistore di 4 500 ohm e una batteria di pile di 4,5 V. L'indice dello strumento è a fondo scala e segna il valore della corrente, ossia 1 mA. Oltre a questo valore sulla scala potrebbe essere segnato anche quello della resistenza, ossia 4 500 ohm; tutta la scala graduata per valori di corrente, da 0 a 1 mA, potrebbe venir graduata anche per valori di

resistenza. Se al posto del resistore di 4 500 ohm viene collocato un resistore di 9 000 ohm, l'indice va al CENTRO DELLA SCALA, in corrispondenza del valore di 0,5 mA, al quale si potrebbe aggiungere quello di 9 000 ohm. Infatti:

$I = E : R$ 4,5 volt : 9 000 ohm = 0,0005 ampere.

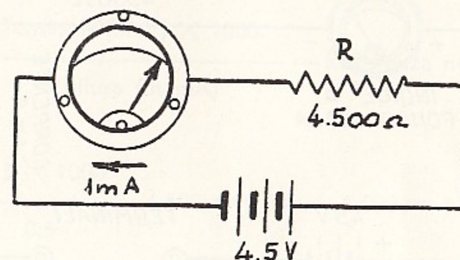


Fig. 5.1 - Esempio pratico.

Se al posto del resistore di 4 500 ohm viene messo un altro di 45 000 ohm, l'indice dello strumento segna 0,1 mA, quindi a tale indicazione potrebbe venir aggiunta quella di 45 000 ohm. Infatti:

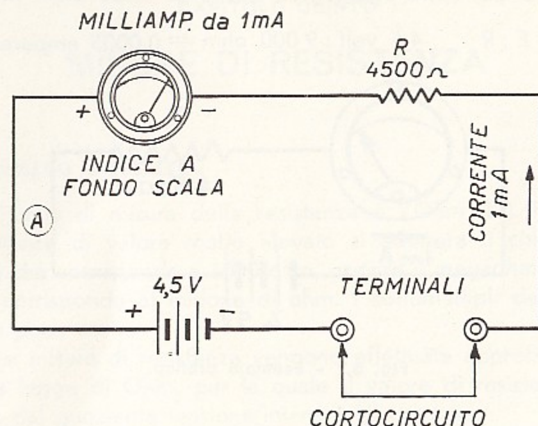
$I = E : R$ 4,5 volt : 45 000 ohm = 0,0001 ampere.

Un milliamperometro da 0 a 1 mA e una batteria di pile da 4,5 V possono costituire uno strumento per misure di resistenza da 45 000 ohm a 4 500 ohm. Lo strumento presenterebbe però un inconveniente molto grave. Qualora al posto del resistore di 4 500 ohm venisse posto un resistore di valore sconosciuto tale da essere molto inferiore a quello di 4 500 ohm, esso determinerebbe un'eccessiva intensità di corrente, la quale potrebbe determinare la rovina dello strumento.

Se, per es., il valore del resistore fosse di 450 ohm, l'intensità di corrente risulterebbe di 4,5 : 450 = 0,01 am-

pere, ossia 10 mA; l'indice farebbe un balzo oltre il fondo scala.

Si può ovviare a questo inconveniente lasciando fisso il



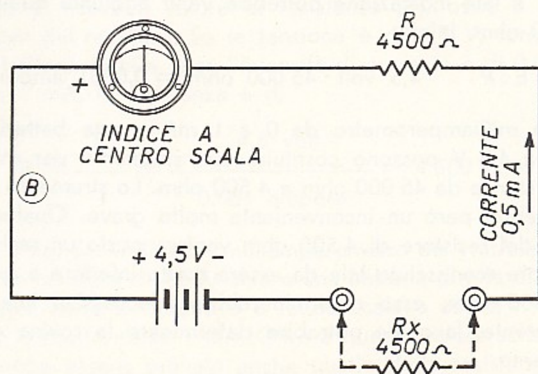


Fig. 5.2 – Principio di funzionamento dell'ohmmetro. (Osservare l'indice).

resistore di 4 500 ohm, quello che determina la massima intensità di corrente ammissibile, e disporre in serie ad esso il resistore di valore sconosciuto, come indica la fig. 5.2. Se l'inserzione del RESISTORE DI VALORE SCONOSCIUTO fa andare l'indice dello strumento al centro della scala, a 0,5 mA, il valore della sua resistenza (R_x) è dato da:

$$R_x = \frac{\text{Tensione (in V)} \times 1000}{\text{Lettura (in mA)}} - \text{Resistenza nota (in } \Omega)$$

ossia:

$$R_x = \frac{4{,}5 \times 1000}{0{,}5} - 4\,500 = 9\,000 - 4\,500 = 4\,500 \text{ ohm.}$$

Sulla scala dello strumento, sopra l'indicazione di 0,5 mA, si può aggiungere quella di 4 500 ohm. È questo il VALORE DI CENTRO SCALA.

Se l'indice avesse segnato 0,9 mA, il valore di R_x sarebbe stato di (v. Tabella a pagina seguente):

$$R_x = \frac{4{,}5 \times 1000}{0{,}9} - 4\,500 = 5\,000 - 4\,500 = 500 \text{ ohm.}$$

Collegando in cortocircuito i morsetti riservati al resistore di valore sconosciuto, l'indice segna 1 mA, corrispondente al VALORE DI ZERO OHM. È così ovviato all'inconveniente; poichè se la resistenza è zero, ossia se il resistore è in cortocircuito, l'indice non va oltre la fine della scala e lo strumento è salvaguardato.

Se la scala del milliamperometro è abbastanza larga, i valori di resistenza possono essere più numerosi, e le letture più comode. Nell'esempio di quadrante con scala di fig. 5.3, sopra i valori relativi alle correnti vi sono 15 valori di resistenza, da 500 a 100 000 ohm. Con questa doppia

scala, il milliamperometro può venir usato sia per misure di corrente che per quelle di resistenza.

TABELLA PER LO STRUMENTO DI FIG. 5.2

Corrente indicata dallo strumento	Valore della resistenza misurata
1 mA	zero ohm
0,9 »	500 »
0,8 »	1125 »
0,7 »	1930 »
0,6 »	3000 »
0,5 »	4500 »
0,4 »	6750 »
0,3 »	10500 »
0,2 »	18000 »
0,1 »	45000 »
zero »	circuito aperto (o resistenza interrotta)

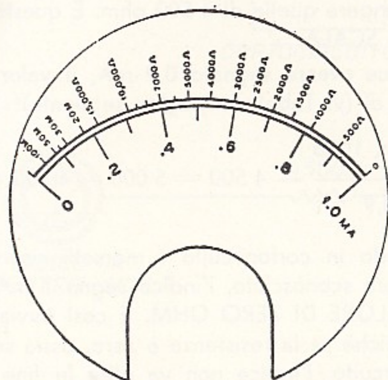


Fig. 5.3 - Scala di milliamperometro con graduazioni in ohm.

L'ohmmetro.

Lo strumento utilizzato per misure di resistenza, ed il cui principio è stato descritto, è detto *ohmmetro*. Consiste

di un milliamperometro con scala graduata in valori di resistenza, provvisto di una batteria di pile e di un resistore fisso in serie, appunto come in fig. 5.2.

Questo tipo di ohmmetro è semplicissimo ma presenta un inconveniente grave: le sue indicazioni dipendono dalla tensione della batteria di pile; a mano a mano che tale tensione diminuisce, le indicazioni risultano sempre più lontane dal vero.

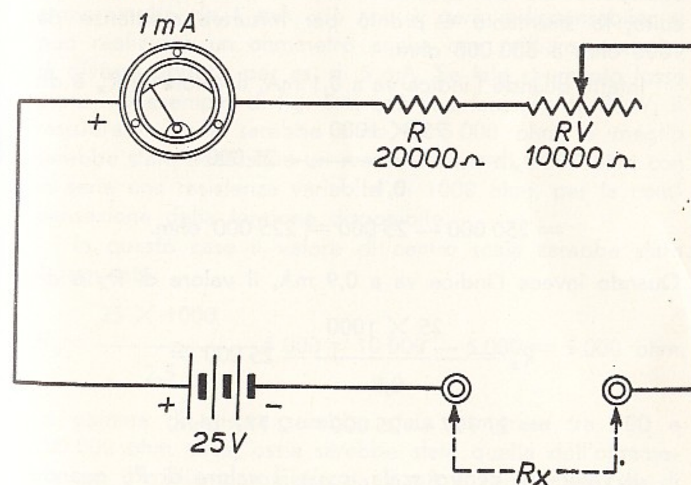


Fig. 5.4 - Milliamperometro da 1 mA usato per misure di resistenza.

Per ovviare a questo inconveniente tutti gli ohmmetri possiedono una resistenza variabile in serie alla fissa, con la quale è possibile provvedere a compensare la diminuizione di tensione della batteria di pile. La fig. 5.4 indica un esempio. È questo lo schema completo di un semplice ohmmetro.

Anche in questo caso lo strumento è un milliamperometro da 1 mA; la batteria è invece di 25 V per cui il

resistore fisso in serie dovrebbe essere di 25 000 ohm. Per ovviare l'inconveniente suddetto, tale resistore è invece di 20 000 ohm, con in serie una resistenza variabile di 10 000 ohm. Prima di utilizzare l'ohmmetro, i morsetti per il resistore da misurare vanno messi in cortocircuito, come in *A*) di fig. 5.2. Regolando la resistenza variabile, l'indice dello strumento viene portato esattamente A FONDO SCALA, in corrispondenza all'indicazione di 1 mA. Tolto il cortocircuito, lo strumento è pronto per misurare resistenze da 1000 ohm a 500 000 ohm.

Infatti, quando l'indice va a 0,1 mA, il valore di R_x è di:

$$R_x = \frac{25 \times 1000}{0,1} - 25\,000 =$$

$$= 250\,000 - 25\,000 = 225\,000 \text{ ohm.}$$

Quando invece l'indice va a 0,9 mA, il valore di R_x è di:

$$R_x = \frac{25 \times 1000}{0,9} - 25\,000 =$$

$$= 27\,777 - 25\,000 = 2\,777 \text{ ohm.}$$

Il *valore di centro scala*, ossia il valore di R_x quando l'indice segna 0,5 mA, è dato da:

$$R_x = \frac{25 \times 1000}{0,5} - 25\,000 =$$

$$= 50\,000 - 25\,000 = 25\,000 \text{ ohm.}$$

Nell'esempio precedente il *valore di centro scala* era di 4 500 ohm. Tale valore è importante poichè definisce la gamma di misure effettuabili. Con il centro scala di 4 500 ohm la gamma va da 500 a 100 000 ohm, con il centro

scala di 25 000 ohm la gamma di misure va invece da 2 000 ohm a 1 megaohm.

Il centro scala dipende dalla tensione della batteria di pile. Con una tensione di 100 V e con lo stesso milliamperometro da 1 mA, il centro scala sarebbe stato di 100 000 ohm, e quindi la gamma sarebbe andata da 4 000 ohm a 4 megaohm.

Nei due esempi fatti è stato previsto l'uso di un milliamperometro da 1 mA, ciò non è però indispensabile; si può realizzare un ohmmetro anche con *milliamperometro di diversa portata*, per es. di 5 mA. Se tale strumento fosse usato nell'esempio di fig. 5.4, con una tensione di 25 V, il resistore in serie sarebbe stato di 5 000 ohm, o meglio sarebbe stato necessario un resistore fisso di 4 500 ohm con in serie una resistenza variabile di 1000 ohm, per la compensazione della tensione disponibile.

In questo caso il valore di centro scala sarebbe stato il seguente:

$$R_x = \frac{25 \times 1000}{2,5} - 5\,000 = 10\,000 - 5\,000 = 5\,000 \text{ ohm.}$$

La gamma di misure sarebbe stata compresa tra 500 e 100 000 ohm circa, ossia sarebbe stata quella dell'ohmmetro con il milliamperometro da 1 mA e con la tensione di 4,5 V. Il vantaggio derivante dall'uso del milliamperometro di 1 mA consiste nella minor tensione necessaria.

Messa a zero dell'ohmmetro.

Prima di adoperare l'ohmmetro è necessario provvedere alla *messa a zero*, ciò che si ottiene, come detto, cortocircuitando i terminali per la resistenza sconosciuta, e regolando la resistenza variabile (*resistenza di messa a zero* o *controllo di zero*) in modo da portare l'indice esattamente a fondo scala.

Occorre notare che la messa a zero è utile solo per piccole differenze di tensione. Se la batteria di pile è molto scarica, l'indice è molto lontano dallo zero, si può comunque portarlo a zero, ma in tal caso viene introdotto un errore notevole nelle letture.

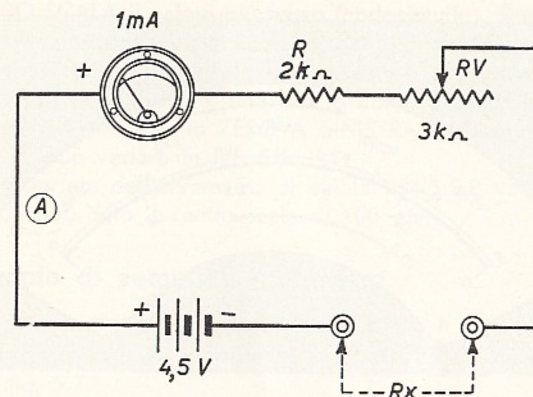
Infatti, se nell'esempio di fig. 5.4 la tensione scende da 25 a 20 volt, la messa a zero è ancora possibile, escludendo tutta la resistenza variabile. L'intensità di corrente è allora di 20 volt : 20 000 ohm = 0,001 ampere, ossia 1 mA. Però il valore di centro scala non è più di 25 000 ohm, come indicato sulla scala stessa, ma è bensì di 20 000 ohm. L'errore è notevole ed è presente su tutta la scala.

Principio dell'ohmmetro per resistenze di basso valore.

Negli ohmmetri ai quali è stato accennato, il resistore da misurare vien sempre posto IN SERIE allo strumento; per tale ragione essi vengono distinti con il termine OHMMETRI IN SERIE. Il resistore riduce l'intensità di corrente nello strumento, il quale indica tale riduzione. Gli ohmmetri di questo tipo non consentono misure di basso valore. Per tali misure è necessario ricorrere al sistema di collocare il resistore da misurare IN PARALLELO allo strumento.

Il principio è indicato dalla fig. 5.5 *B*. L'ohmmetro è del solito tipo, con batteria di pile da 4,5 V e con resistore in serie di 2 000 + 3 000 ohm. Dopo aver messo l'indice a zero, regolando la resistenza variabile, il resistore da misurare vien posto IN PARALLELO AL MILLIAMPEROMETRO, il quale, nell'esempio, è di 100 ohm.

Se il valore del resistore da misurare è esso pure di 100 ohm, la corrente si divide in due parti eguali, di 0,5 mA ciascuna; perciò l'indice segna 0,5 mA, ossia è al centro scala. Dunque il valore di centro scala è di 100 ohm. Se il resistore è invece di 50 ohm, l'indice va ad un terzo della



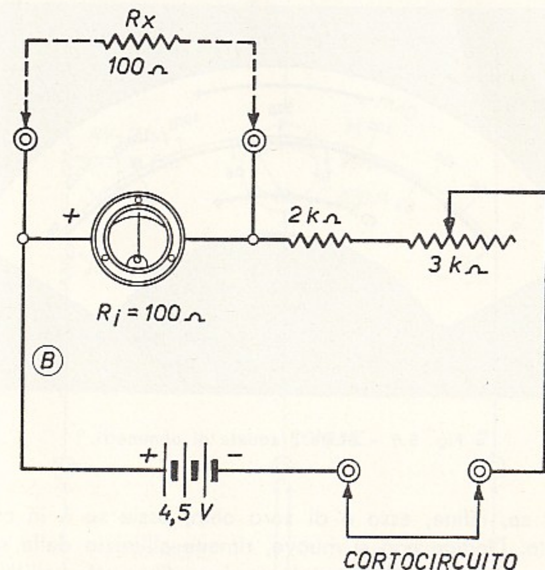


Fig. 5.5 - Ohmmetro per resistenze di basso valore.

Fig. 5.6 - Scale graduate di ohmmetri.

scala; se, infine, esso è di zero ohm, ossia se è in cortocircuito, l'indice non si muove, rimane all'inizio della scala.

Per gli *ohmmetri in serie* avviene l'opposto, all'INIZIO SCALA corrisponde il valore più alto (circuito aperto) e a

FONDO SCALA il valore più basso (cortocircuito). Sicchè gli ohmmetri nei quali è possibile collocare il resistore da misurare in serie o in parallelo, a seconda del suo valore, hanno due scale distinte, una con lo ZERO a DESTRA (portata alta), l'altra con lo ZERO A SINISTRA (portata bassa), come si può vedere in fig. 5.6.

La portata dell'ohmmetro di cui la fig. 5.5 *B* va da 10 a 900 ohm, dato il centro scala di 100 ohm.

Esempio di semplice ohmmetro.

Come si possa realizzare un ohmmetro a due portate, in base ai principi indicati, è illustrato schematicamente dalla fig. 5.7.

Fig. 5.7 - Schema di ohmmetro a 2 portate.

È a due portate, una per le resistenze di alto valore, e l'altra per quelle di basso valore, da 5 ohm a 2 000 ohm.

Le resistenze da misurare vanno collegate a tre morsetti; uno dei morsetti (quello di centro) è in comune. L'aspetto dell'ohmmetro è quello di fig. 5.8. I tre morsetti si trovano sotto il milliamperometro.

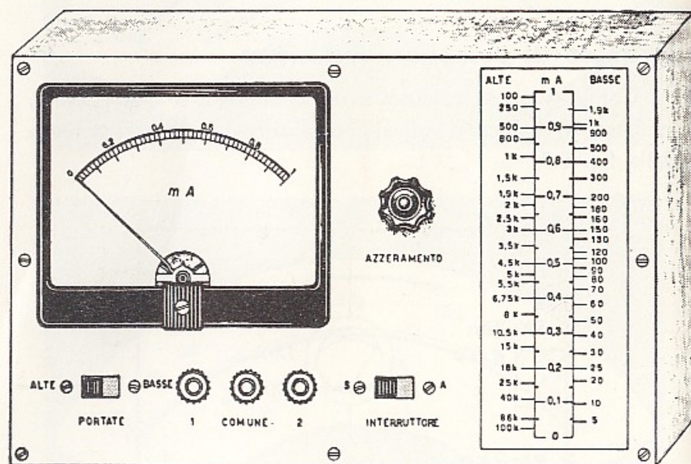


Fig. 5.8 - Aspetto dell'ohmmetro di fig. 5.7.

Vi sono due interruttori, S_1 e S_2. Il primo, S_1, serve per passare da una portata all'altra. Il secondo, S_2, serve per inserire la batteria da 4,5 volt.

Poichè il milliamperometro è da 1 mA, e la batteria è da 4,5 volt, la resistenza fissa R_1 è di 3 000 ohm, e quella variabile RV è di 2 000 ohm. È questa la resistenza di azzeramento.

Per effettuare una misura, si chiudono S_1 e S_2, e si regola RV a fondo scala (indice a destra). Se si misura una resistenza di alto valore, si apre S_1; se, invece, si misura una resistenza di basso valore, si lascia S_1 chiuso.

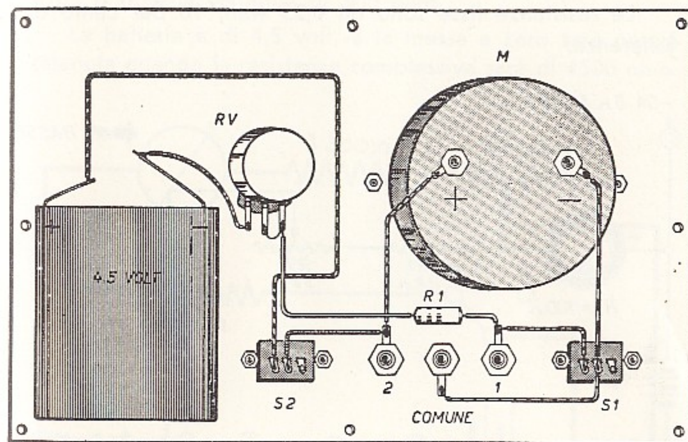


Fig. 5.9 - Componenti dietro il pannello frontale.

La fig. 5.9 mostra l'aspetto dell'ohmmetro dietro il pannello frontale.

Non è mai opportuno segnare i valori in ohm sul quadrante del milliamperometro, è sempre meglio approntare una tabellina con i valori in ohm, da applicare sul pannello dell'ohmmetro, come in fig. 5.8.

L'ohmmetro può avere tre portate, anzichè due. Il principio è quello di fig. 5.10. Occorre una seconda batteria da 4,5 volt e una resistenza fissa da 4,7 chiloohm.

Le tre portate sono:

a) bassa, da 5 a 1 900 ohm;

b) media, da 100 ohm a 100 chiloohm;

c) alta, da 1 a 200 chiloohm.

Le resistenze fisse sono da 0,25 watt, 10 per cento di tolleranza.

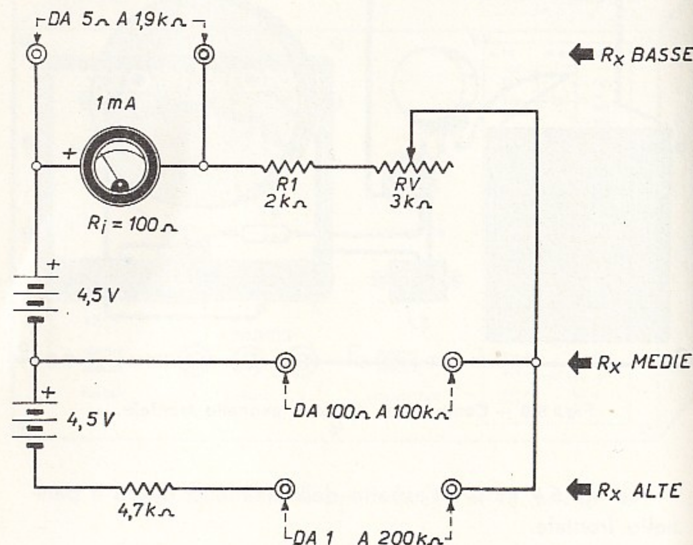


Fig. 5.10 - Ohmmetro a tre portate.

Esempio di ohmmetri a due portate.

La fig. 5.11 indica lo schema di un semplice ohmmetro a due portate, per resistenze da 500 a 50 000 ohm e da 50 a 5000 ohm. È inteso che le letture più precise si otten-

gono nel tratto centrale della scala, il quale per la prima portata è di circa 5000 ohm, mentre per la seconda è di circa 500 ohm.

Quando l'inversore è nella posizione G sono incluse solo le resistenze in serie allo strumento, ossia quella fissa di 4200 ohm e la variabile di 500 ohm.

La batteria è di 4,5 volt, e la messa a zero sarà perciò ottenuta quando la resistenza complessiva sarà di 4500 ohm.

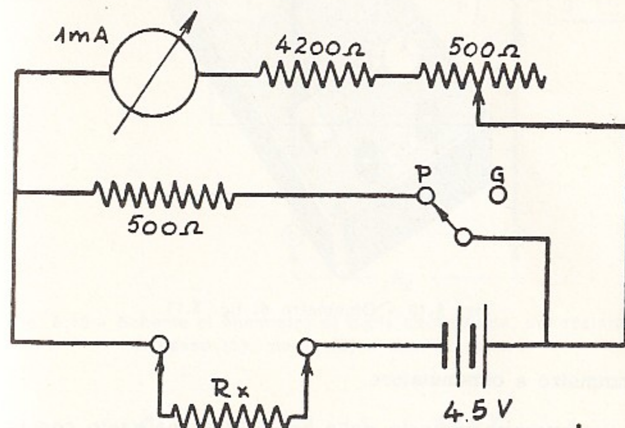


Fig. 5.11 - Nella posizione P l'ohmmetro è adatto per resistenze da 50 a 5000 ohm, con 500 ohm al centro scala. Nella posizione G è adatto per resistenze da 500 a 50 000 ohm, con 5000 ohm al centro scala.

Per ridurre questa portata dello strumento basta portare l'inversore su *P*. In tal caso risulta inclusa la resistenza di 500 ohm, sicchè la resistenza complessiva delle tre resistenze sarà di 450 ohm.

L'ohmmetro può venir tarato sulla portata maggiore o su quella minore. Le letture risultano identiche, ma con uno

zero in più o in meno. Se si adopera la portata minore per graduare la scala, per ottenere l'indicazione sulla portata maggiore basta moltiplicare la lettura fatta per 10.

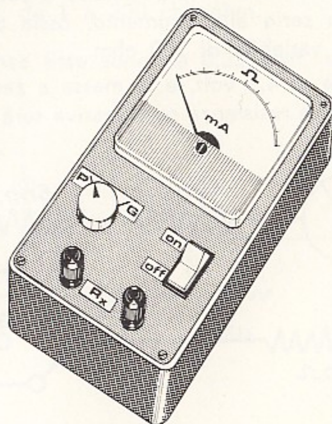


Fig. 5.12 - Ohmmetro di fig. 5.11.

Ohmmetro a commutatore.

L'ohmmetro indicato dalla fig. 5.13 è realizzato con un milliamperometro la cui resistenza interna è di 100 ohm, portata 1 mA.

È provvisto di un commutatore a tre vie e due sezioni, il cui movimento si ottiene con un'unica manopola. Consente di misurare resistenze da 10 ohm a 1000 ohm (quando il commutatore è in 1), da 300 a 30 000 (quando il commutatore è in 2) e da 1500 a 150 000 (quando il commutatore è in 3).

È provvisto di due batterie, una da 4,5 V e una da 18 V.

La fig. 5.14 illustra lo schema semplificato dell'ohmmetro quando è usata la portata minore. In tal caso sono usate

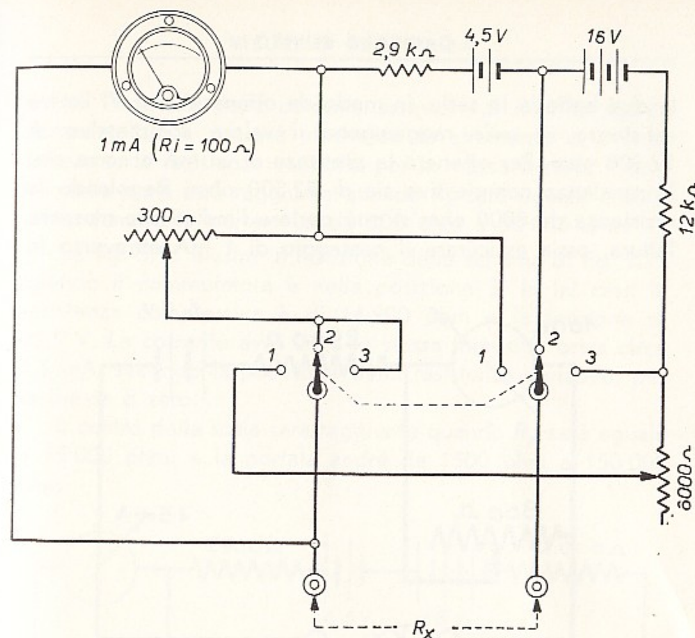


Fig. 5.13 - Schema di ohmmetro di facile costruzione, per resistenze di basso (1), medio (2) o alto (3) valore.

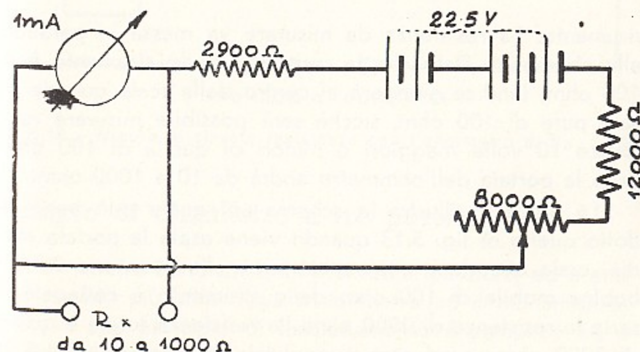


Fig. 5.14 - Misura di basse resistenze con l'ohmmetro di fig. 5.13.

le due batterie in serie, in modo da ottenere 22,5 V. Le tre resistenze in serie raggiungono il valore complessivo di 22 900 ohm. Per ottenere la presenza di un mA occorre che la resistenza complessiva sia di 22 500 ohm. Regolando la resistenza da 8000 ohm si può portare l'indice alla massima lettura, ossia assicurare il passaggio di 1 mA attraverso lo

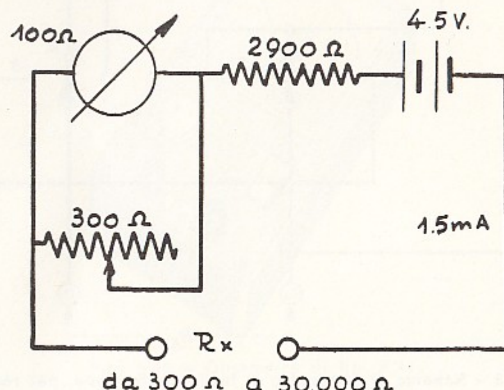


Fig. 5.15 - Misura di medie resistenze con l'ohmmetro di fig. 5.13.

strumento. La resistenza da misurare va messa in parallelo allo strumento. Dato che la resistenza dello strumento è di 100 ohm, l'indice giungerà al centro della scala quando R_x sarà pure di 100 ohm, sicchè sarà possibile misurare resistenze 10 volte maggiori o minori di quella di 100 ohm, ossia la portata dell'ohmmetro andrà da 10 a 1000 ohm.

La fig. 5.15 illustra lo schema nel quale può venir ridotto quello di fig. 5.13 quando viene usata la portata media, ossia quando il commutatore è nella posizione 2. Alla bobina mobile di 100 ohm dello strumento è collegata in serie la resistenza di 2900 ohm. La resistenza totale è quindi di 3000 ohm, e ad essa è applicata la tensione di 4,5 V,

sicchè l'intensità della corrente sarà di 1,5 mA. Di questa corrente, 1 mA passerà attraverso lo strumento e il resto attraverso la resistenza variabile per la messa a zero. Il centro della scala sarà raggiunto quando R_x sarà eguale a 3000 ohm, dunque la portata va da 300 ohm a 30 000 ohm.

La fig. 5.16 illustra la riduzione dello schema di fig. 5.13 quando il commutatore è nella posizione 3. In tal caso la resistenza complessiva è di 14 900 ohm e la tensione di 22,5 V. La corrente avrà circa la stessa intensità, ossia circa 1,5 mA, secondo la posizione della resistenza variabile, per la messa a zero.

Il centro della scala sarà raggiunto quando R_x sarà eguale a 15 000 ohm, e la portata andrà da 1500 ohm a 150 000 ohm.

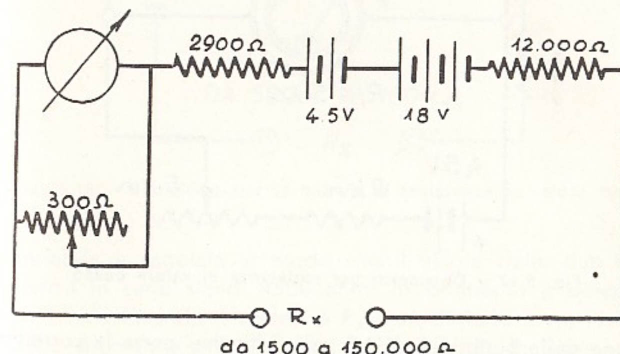


Fig. 5.16 - Misura di elevate resistenze con l'ohmmetro di fig. 5.13.

Esempio di ohmmetro a tre portate.

L'ohmmetro è indispensabile al radioriparatore, ed è anzi lo strumento più utile dopo il voltmetro ed il milliamperometro. Il suo principio di funzionamento è semplice ed è già stato descritto nelle pagine precedenti.

Le figg. 5.17, 5.18 e 5.19 indicano gli schemi di tre ohmmetri, adatti rispettivamente per basse, medie ed alte resistenze. La fig. 5.20 indica lo schema di un ohmmetro che comprende tutti e tre gli ohmmetri precedenti, e che risulta quindi adatto per misurare basse, medie e alte resistenze.

Nel caso della fig. 5.17 è usato un milliamperometro da 1 mA con resistenza interna di 50 ohm (o circa). La ten-

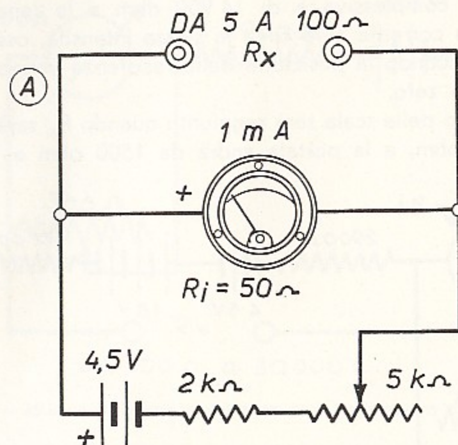


Fig. 5.17 - Ohmmetro per resistenze di valore basso.

sione della batteria è di 4,5 volt. Affinchè scorra la corrente di 1 mA nello strumento è necessario che in serie alla batteria vi sia una resistenza di 4500 ohm ($R = V/I$), la quale è ottenuta da una resistenza variabile di 5000 ohm e da una resistenza fissa di 2000 ohm. Regolando la variabile, è possibile portare l'indice dello strumento esattamente ad 1 mA, dopo di che si provvede a misurare la resistenza sconosciuta R_x. Se l'inserimento di tale resistenza determina lo spostamento dell'indice al centro della scala, significa che il valore di R_x è eguale a quello della resistenza interna

dello strumento, ossia di 50 ohm. Se R_x è di 75 ohm, l'indice segna 0,6 mA; se R_x è di 25 ohm, l'indice segna 0,33 mA, e così via.

Lo schema di fig. 5.18 serve per la misura di resistenze da 500 a 100 000 ohm. Quando il valore di R_x è zero (cortocircuito), la tensione della batteria è di 4,5 V e la resistenza

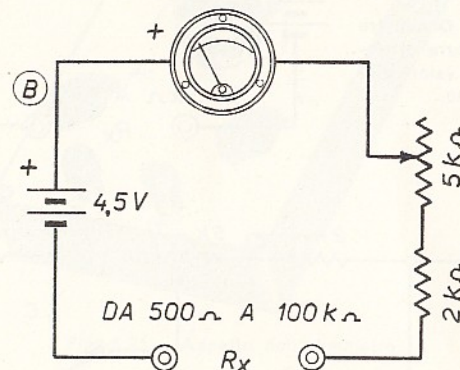


Fig. 5.18 - Ohmmetro per la misura di resistenze di valore medio.

variabile è regolata in modo che il valore delle due resistenze in serie sia di 4500 ohm, lo strumento è percorso da 1 mA. Quando il valore di R_x sarà di 4500 ohm, l'indice dello strumento sarà al centro della scala. La tensione della batteria non dovrà scendere sotto il 10 % per non falsare troppo le letture, come detto.

Lo schema di fig. 5.19 è simile a quello di fig. 5.18, con la differenza che è stata aggiunta una batteria di 45 V ed una resistenza fissa di 45 000 ohm. Regolando la resistenza variabile si ottiene egualmente la presenza di 1 mA, quando R_x è zero. In questo caso l'indice va al centro della scala quando $R_x = 49\,500$ ohm, ciò che consente la misura di resistenze da 5000 ohm a 1 megaohm.

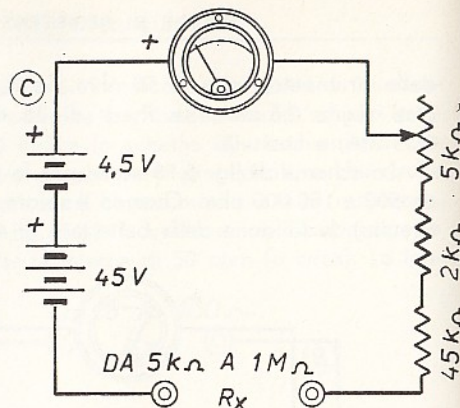


Fig. 5.19 - Ohmmetro per la misura di resistenze di valore elevato.

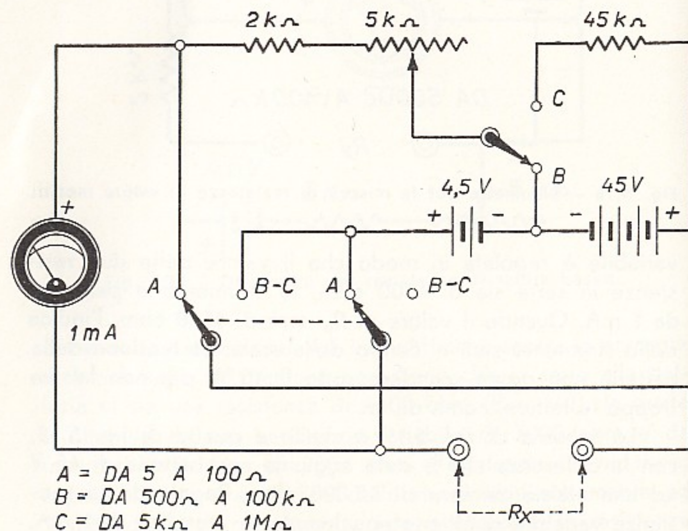


Fig. 5.20 - Schema di ohmmetro per misure di resistenze di basso, medio e alto valore. (Lo schema rappresenta l'unione delle figure 5.17, 5.18 e 5.19.

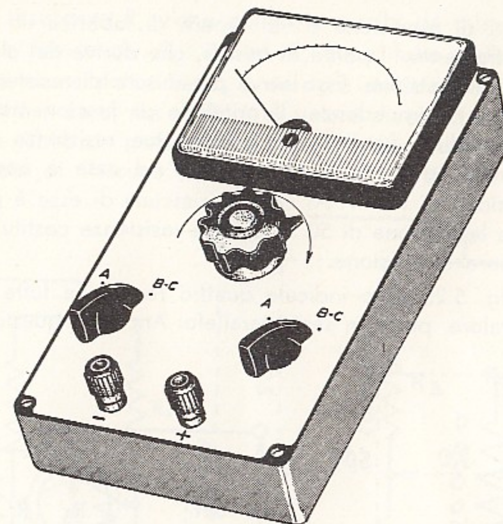


Fig. 5.21 - Aspetto dell'ohmmetro.

Le letture che si ottengono con gli ohmmetri descritti presentano i consueti errori che aumentano con il diminuire della tensione della batteria, e con l'avvicinarsi dell'indice dello strumento verso gli estremi della scala.

La fig. 5.20 indica lo schema complessivo dell'ohmmetro con tre portate. Il passaggio da una portata all'altra si ottiene con i tre inversori.

Principio del ponte.

Le misure di resistenza si effettuano comunemente e agevolmente con l'ohmmetro, per cui può sembrare superflua la descrizione di altro sistema di misura. L'ohmmetro ha però delle limitazioni, specie se occorrono tolleranze molto basse o se si tratta di misure particolari. È perciò spesso usato nei

laboratori di precisione o nei reparti di fabbrica un particolare strumento, il *ponte di misura*, che deriva dal classico ponte di Wheatstone. Esso serve per misure di resistenze di capacità e di impedenze. Il principio di funzionamento è molto semplice. La fig. 5.22 indica due resistenze poste in serie R_1 ed R_2 di uguale valore. Ad esse è applicata una tensione di 100 V. Ai capi di ciascuna di esse è perciò presente la tensione di 50 V. Le due resistenze costituiscono un divisore di tensione.

In fig. 5.23 sono indicate quattro resistenze tutte dello stesso valore, poste in serie-parallelo. Anche in questo caso

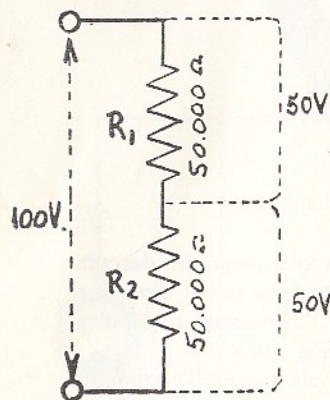


Fig. 5.22 – Divisore di tensione.

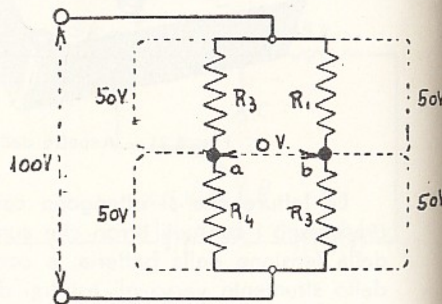


Fig. 5.23 – Principio del ponte.

ai capi di ciascuna di esse è presente la stessa tensione. Fra i punti *a* e *b* non vi è nessuna differenza di tensione, ossia tra questi due punti la tensione è zero.

Le quattro resistenze così disposte formano un ponte. Esso può venir utilizzato per misure collocando uno strumento indicatore tra i punti *a* e *b*, come in fig. 5.24. Al posto

della resistenza R_4 viene collocata quella da misurare R_x. Le tre resistenze, R_1, R_2 ed R_3 sono tutte dello stesso valore, come detto. Se R_x è del loro stesso valore lo strumento è a zero, ma se R_x è di valore diverso lo strumento indica subito un passaggio di corrente tra i punti *a* e *b*. Se il valore di ciascuna delle tre resistenze è di 50 000 ohm,

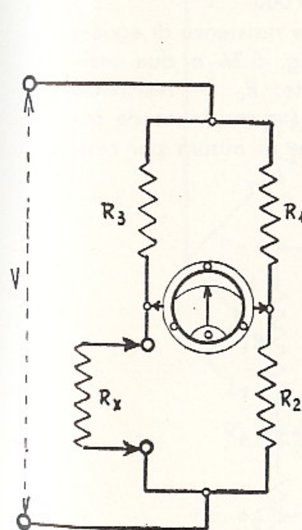


Fig. 5.24 – Ponte per resistenze.

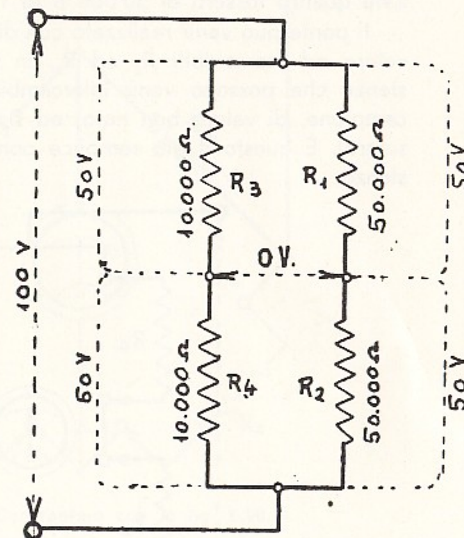


Fig. 5.25 – Divisore di tensione.

e se in un reparto di fabbrica si vuol separare da un grande quantitativo di resistenze di vario valore tutte quelle di 50 000 ohm, basta provarle a questo ponte. Tutte quelle che lasciano immobile l'indice a zero sono di tale valore. Così per qualsiasi altro valore, purchè si abbiano tre resistenze del valore desiderato, si possono rapidamente controllare tutte le altre.

Si può semplificare ancora lasciando al loro posto le resistenze R_1 ed R_2 sostituendo solo la R_3. Infatti ai capi di ciascuna delle quattro resistenze di fig. 5.25 è presente la stessa tensione di 50 V sebbene siano solo a due a due eguali. Quelle a destra sono di 50 000 ohm, e quelle a sinistra di 10 000 ohm. Il risultato è però lo stesso come se tutte quattro fossero di 50 000 o di 10 000.

Il ponte può venir realizzato con due resistenze di eguale valore ed inamovibili R_1 ed R_2, in fig. 5.26 e due resistenze che possono venir intercambiate: R_c (= resistenza campione, di valore ben noto) ed R_x (= resistenza da misurare). È questo il più semplice ponte di misura per resistenze.

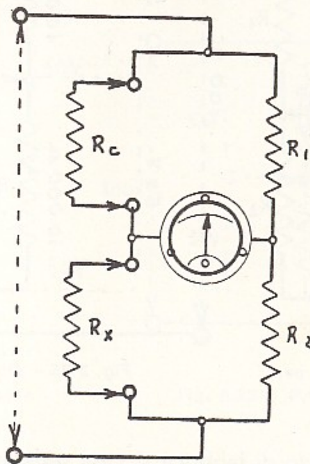


Fig. 5.26 - Ponte di resistenze.

Esempio pratico di ponte per resistenza.

Il ponte indicato dalla fig. 5.27 consente la misura di resistenze eguali alla resistenza campione; un ponte simile

illustra il principio di funzionamento, ma non è adatto per realizzazione pratica. Il ponte deve consentire la misura di tutta una vasta gamma di resistenze, appunto come avviene con l'ohmmetro. Questo è possibile sostituendo le due resi-

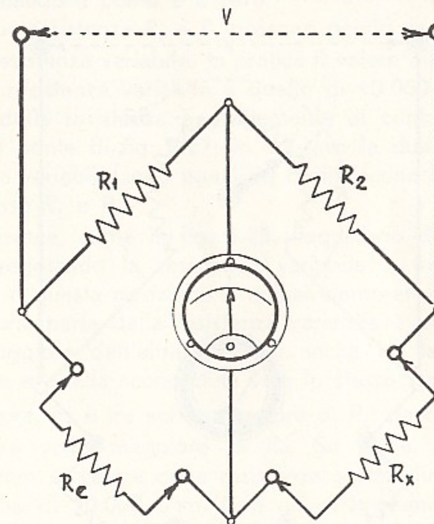


Fig. 5.27 - Confrontare con la fig. 5.26.

stenze fisse R_1 ed R_2, indicate in figura, con una resistenza variabile, come nell'esempio di fig. 5.28.

Le due resistenze fisse possono venir sostituite con una sola, ma variabile, ossia con un potenziometro, poichè non è necessario che tali due resistenze fisse abbiano lo stesso valore della resistenza campione e della sconosciuta. Osservando la fig. 5.25 si può notare che la tensione zero si trova tra i due lati del ponte, uno dei quali formato con due resistenze di 10 chiloohm, e l'altro formato con due

resistenze di 50 chiloohm ciascuna. Non è quindi necessario che le quattro resistenze siano eguali.

Però non è neppure necessario che la tensione zero sia misurata proprio a metà della tensione di alimentazione del ponte. In quella figura, la tensione applicata al ponte è di

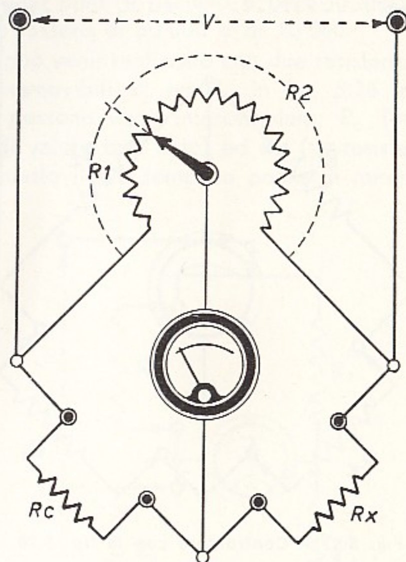


Fig. 5.28 – Principio del ponte di misura con potenziometro. È provvisto della scala graduata di fig. 5.29.

100 volt, ed è divisa in due parti eguali, di 50 volt ciascuna. Lo stesso risultato si ottiene anche se la tensione zero viene misurata tra due punti a 25 volt o tra due punti a 75 volt, o tra due punti con altra tensione qualsiasi.

Si può ritornare alla fig. 5.27 e constatare che esiste questa eguaglianza:

$$R_x : R_c = R_2 : R_1$$

ossia: la resistenza sconosciuta sta a quella campione, come la resistenza R_2 sta alla resistenza R_1. Se, ad esempio, la resistenza R_2 è tre volte maggiore di quella R_1, anche la resistenza sconosciuta è tre volte maggiore di quella campione, quando il ponte è a zero.

Le due resistenze R_1 e R_2 possono perciò venir sostituite da una resistenza variabile. In pratica il valore meglio adatto per tale resistenza variabile è quello di 10 000 ohm. Se il cursore della resistenza è esattamente al centro, allora si ottiene il ponte di fig. 5.27; in tal caso le due parti della resistenza variabile sono eguali, e costituiscono le due resistenze fisse R_1 e R_2.

Se, invece, come in fig. 5.28, l'equilibrio del ponte si ottiene regolando la resistenza variabile a tre quarti di corsa, e in questa posizione il milliamperometro ha l'indice a zero, una parte della resistenza variabile è di valore tre volte maggiore dell'altra, per cui anche tra la resistenza campione e quella sconosciuta vi è lo stesso rapporto.

In figura, R_2 è tre volte maggiore di R_1, perciò R_x deve essere tre volte maggiore di R_c. Se R_c è, ad es., di 10 000 ohm, il valore della resistenza sconosciuta non può essere che di 30 000 ohm. Con un certo numero di resistenze campione, è possibile misurare una vasta gamma di resistenze.

Sotto la manopola della resistenza variabile, viene collocata una scala graduata, detta *scala dei rapporti* (fig. 5.29). Indica tutti i rapporti tra 10 e 0,1, e quindi consente misure di tutti i valori di resistenza da 10 volte più sino a 10 volte meno della resistenza campione.

I ponti di resistenza sono in pratica tutti di questo tipo, ossia sono tutti *ponti a rapporto variabile*. La manopola della resistenza variabile va regolata sino ad ottenere l'equilibrio del ponte, ossia sino a tanto che l'indice dello strumento si ferma a zero, indicando assenza di corrente, ossia assenza di differenza di tensione.

STRUMENTO DEL PONTE. — Lo strumento indicatore di zero del ponte di resistenza può essere un milliamperometro da 1 mA. Esso deve venir protetto dagli eccessivi sbalzi di tensione che possono verificarsi quando il ponte è fortemente sbilanciato. A tale scopo in serie ad esso vi

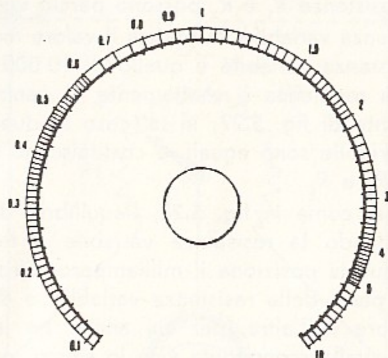


Fig. 5.29 - Scala per ponte.

è un controllo di sensibilità (fig. 5.30), costituito dalla resistenza RV_2, di 5 000 ohm, variabile. La resistenza va inserita completamente all'inizio della misura, e quindi gradatamente diminuita, in modo da adeguare la sensibilità dello strumento alle condizioni di equilibrio del ponte. È necessario, inoltre, che lo strumento possa venir staccato durante il passaggio da una resistenza da misurare all'altra, e, in genere, che possa venir inserito solo quando è necessario provvedere all'indicazione di zero.

TENSIONE DI ALIMENTAZIONE. — La tensione di alimentazione è continua, e può essere ottenuta con pile o con un alimentatore dalla rete-luce. È sufficiente una tensione di alcuni volt, ad es. 6 volt, come indicato in figura. Tensioni elevate determinano eccessive intensità di corrente

nelle resistenze di basso valore; tensioni troppo basse non si adeguano alle portate maggiori. Può venir rettificata la tensione alternata a 6,3 volt, prelevandola dall'avvolgimento secondario di un trasformatore di tensione.

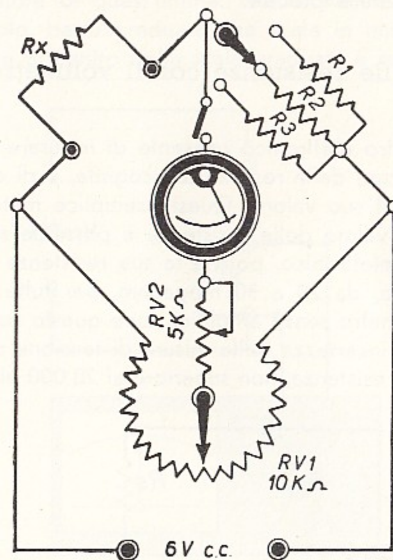


Fig. 5.30 - Principio del ponte a potenziometro, a tre portate.

PORTATE. — In figura sono indicate tre resistenze campione, R_1, R_2 e R_3. I valori meglio adatti per tali resistenze sono: 100 ohm, 10 000 ohm e 1 megaohm. Esse consentono di effettuare misure di resistenza da 10 ohm circa, a 10 megaohm circa. Iniziare la portata minore con una resistenza campione di 1 ohm è possibile, ma sono necessari particolari accorgimenti tecnici, tali da consentire l'applicazione di un carico di appena 2 ohm (media campione e resistenza da misurare) all'alimentatore.

CONTROLLO DI MESSA A ZERO. — Il potenziometro RV_1 da 10 000 ohm costituisce un componente di grande importanza per il ponte; è bene sia a filo avvolto, e di dimensioni notevoli, ad es. 7 o 8 centimetri, in modo da consentire letture precise.

Misura delle resistenze con il voltmetro elettronico.

Il voltmetro elettronico consente di misurare la tensione presente ai capi della resistenza incognita, e di determinare in tal modo il suo valore. Questo semplice metodo per riconoscere il valore delle resistenze è possibile soltanto con il voltmetro elettronico, poichè la sua resistenza d'entrata è molto elevata, da 20 a 30 megaohm, per tutte le portate. Con un voltmetro senza amplificazione questo risulta impossibile, data l'incertezza della misura di tensione causata dalla sua bassa resistenza, non superiore ai 20 000 ohm per volt.

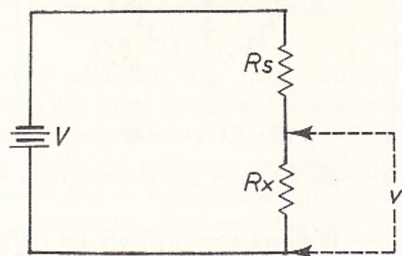


Fig. 5.31

Il principio è quello di fig. 5.31. La tensione V è applicata ad un partitore di tensione costituito da due resistenze, R_s e R_x. La tensione v ai capi di R_x dipende dal suo valore rispetto a quello della resistenza R_s. Se le due resistenze hanno lo stesso valore, la tensione ai capi di ciascuna di

esse è la stessa, dato che la V risulta divisa per 2, per cui v = V : 2.

Poichè la tensione V e la resistenza R_s non variano, è sufficiente misurare la tensione v ai capi di R_x per conoscere il valore di quest'ultima. Non è necessario eseguire alcun calcolo, basta graduare una scala in ohm.

Il valore di centro della scala graduata è sempre eguale

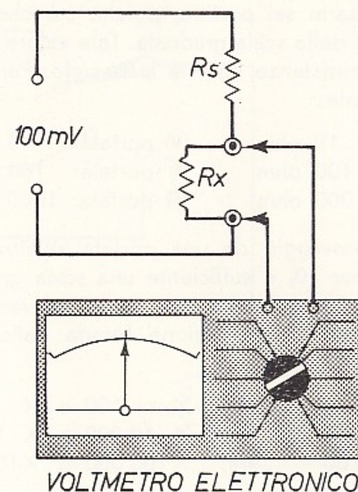


Fig. 5.32

a quello della resistenza in serie, R_s. Questo si verifica per tutte le portate.

La fig. 5.32 indica un voltmetro elettronico utilizzato per la misura di R_x. È indicata sul suo quadrante la sola scala relativa ai valori delle resistenze, per semplicità. È una delle scale del voltmetro elettronico, le altre sono generalmente due, una per le tensioni e le correnti continue e l'altra per quelle alternative. L'indice è al centro scala nella supposi-

zione che R_x sia eguale a R_s. Collegando in corto circuito le prese per R_x, l'indice è all'inizio scala. Segna 0 volt. In assenza di R_x è a fine scala.

ESEMPIO DI OHMMETRO ELETTRONICO. — Lo schema è quello di fig. 5.33. La resistenza R_s, in serie alla R_x incognita, è sostituita da sei resistenze, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 e R_6. A ciascuna corrisponde una delle sei portate dell'ohmmetro.

Sono necessarie sei portate, poichè ciò che conta è il valore di centro della scala graduata. Tale valore corrisponde a quello delle resistenze inserite in circuito. Per le sei portate è il seguente:

I portata:	10 ohm	IV portata:	10 chiloohm
II portata:	100 ohm	V portata:	100 chiloohm
III portata:	1000 ohm	VI portata:	1000 chiloohm

Poichè il passaggio da una portata all'altra si ottiene moltiplicando per 10, è sufficiente una scala graduata sola, al posto di sei. Ne consegue che le letture vanno tutte ottenute moltiplicando l'indicazione fornita dallo strumento, come segue:

Ia)	× 1	IVa)	× 100 o × 1 kΩ
IIa)	× 10	Va)	× 10 000 o × 10 kΩ
IIIa)	×100	VIa)	×100 000 o ×100 kΩ

Le misure utili su ciascuna portata sono limitate al tratto corrispondente al centro scala, dato che i valori si addensano molto verso la fine di essa, tanto da non riuscire leggibili. L'ultimo tratto della scala è quindi superfluo.

È per questa ragione che la scala in ohm è più corta di quella in volt, disegnata al di sopra di essa per fornire un confronto (v. fig. 9.12 nel cap. IX). Nella prima portata la scala finisce a 100 ohm. C'è un tratto fuori scala con l'indicazione di 500, ma questo solo per ragione estetica. È evidente che il valore di 500 ohm va letto sulla terza portata, dove 5 va moltiplicato per 100.

Entro ciascuna portata, le misure utili, ossia sufficientemente precise, sono comprese tra 10 volte più o meno il valore di centro scala.

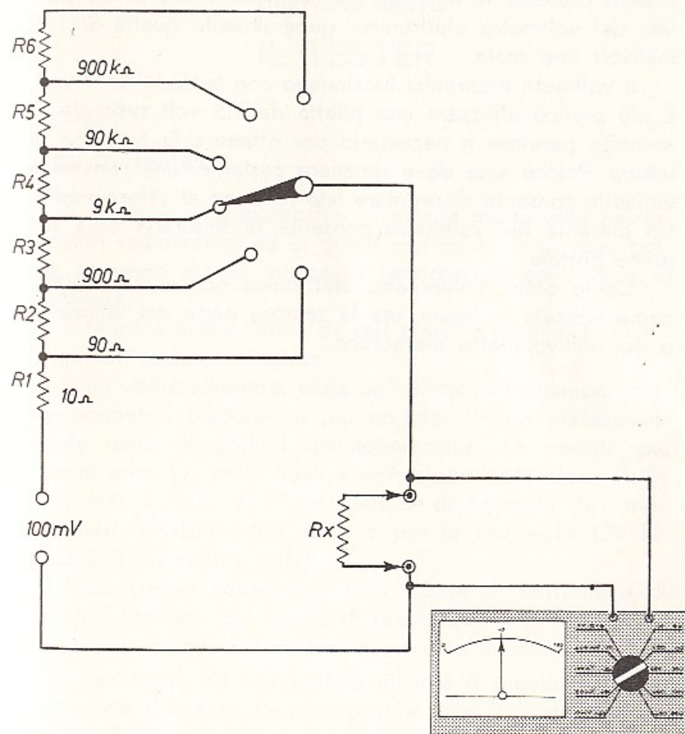


Fig. 5.33

L'errore di lettura è generalmente del 3 % su tale tratto della scala, per tutte le portate, ad eccezione della prima, per la quale è del 5 %.

Va notato che la tensione di 100 mV indicata è ottenuta

con una piletta da 1,5 volt, mediante un altro divisore di tensione, non indicato in figura, per semplicità. È possibile utilizzare una tensione di lettura più alta di quella di 100 mV. È però preferita la tensione corrispondente alla prima portata del voltmetro elettronico, generalmente quella di 100 millivolt fine scala.

Il voltmetri elettronici funzionano con batteria da 9 volt. È più pratico utilizzare una piletta da 1,5 volt separata. Il secondo partitore è necessario per ottenere la tensione di lettura. Poichè essa deve rimanere costante, una resistenza variabile consente di regolare tale tensione al valore esatto. Un pulsante del voltmetro consente di misurarla sulla sua prima portata.

Come detto, l'ohmmetro elettronico non è mai isolato, come indicato in figura, ma fa sempre parte del voltmetro o del millivoltmetro elettronico.

CAPITOLO SESTO

IL TESTER

Tipi di tester.

Il *tester* è un apparecchio di misura molto utile nei laboratori radiotecnici ed in quelli elettronici in genere, poichè consente rapide misure di tensione, di corrente e di resistenza.

Il termine tester deriva da *test meter* o meglio da *multi-range test meter*, in inglese.

È un *volt-multimetro*, ossia un voltmetro-milliamperometro-ohmmetro. Dispone di più portate; il loro numero dipende dalle dimensioni dell'apparecchio. Le portate più comuni sono 12, delle quali 4 per misure di tensione (1 V-10 V-100 V-1000 V), 5 per misure di corrente (0,1 mA-1 mA-10 mA-100 mA-1 A) e 3 per le resistenze (20 Ω-2 kΩ-200 kΩ centro scala).

Alcuni tester consentono solo misure di tensione e di corrente continua (più quelle di resistenza); altri sono adatti anche per misure di tensione e corrente alternata.

Il passaggio da una portata all'altra è ottenuto con un *commutatore rotante*. Le varie portate sono indicate sul pannello dell'apparecchio.

I tester adatti anche per misure in alternata utilizzano le stesse portate per CC (continua) o CA (alternata). Il passaggio da una prestazione all'altra avviene con un inversore a tasto o a slitta.

La precisione delle misure ottenibili con il tester dipendono notevolmente dallo strumento di misura, e dalla pre-

senza di un amplificatore a transistor. I tester vanno perciò suddivisi in due tipi:

a) *tester comuni*, con il solo strumento di misura;

b) *tester elettronici*, con amplificatore a transistor posto prima dello strumento.

I tester comuni più in uso sono di due tipi: con strumento a 1000 ohm per volt (milliamperometro da 1 mA fs) o con strumento a 20 000 ohm per volt (microamperometro da 50 µA fs). I primi sono per elettricisti (e per dilettanti), i secondi si adeguano alle esigenze del lavoro di laboratorio, e sono perciò adatti per tecnici elettronici.

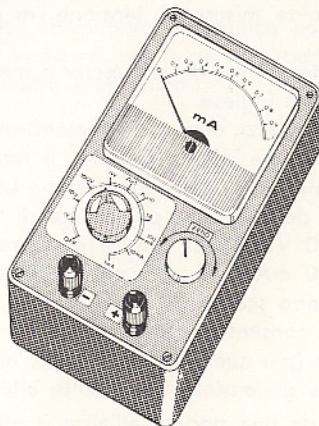


Fig. 6.1 - Aspetto dello strumento.

I tester elettronici sono molto più precisi, bene adatti per qualsiasi verifica o collaudo di apparecchiature elettroniche. Essi soli sono di tipo professionale. Sono dei millivoltmetri elettronici adatti oltre che per misure di tensione su 12 portate, 6 in millivolt (1-3-10-30-100-300 mV) e 6 in volt (le stesse), anche per misure di corrente su 5 portate

(0,1 mA-1 mA-10 mA-100 mA-1 A), e per misure di resistenze su 6 portate (1 Ω-10 Ω-100 Ω-1 kΩ-1 MΩ).

Consentono misure in continua e in alternata (generalmente da 100 mV in su) per cui il loro quadrante porta anche le scale della misura di potenza in watt e quella del livello sonoro in decibel.

Attualmente è disponibile anche un terzo tipo di tester, quello *digitale* (*digital multimeter*). Indica in cifre luminose i valori delle tensioni, delle correnti e delle resistenze che si vogliono conoscere. Per di più rende superfluo il commutatore, in quanto provvede automaticamente al passaggio da una portata all'altra.

Il presente capitolo è dedicato soltanto ai tester di tipo comune, senza amplificazione. Gli altri tipi di tester sono descritti di seguito.

Principio del tester per misure in continua.

Un esempio di tester di tipo comune, per misure in continua, è quello di fig. 6.1.

È utilizzato uno strumento economico, di bassa sensibilità, ossia un milliamperometro da 1 mA fs. La resistenza interna dello strumento è di 50 ohm.

Lo schema è molto semplice. È quello di fig. 6.2. Un commutatore rotante *S* a due vie e dodici posizioni consente il passaggio da una portata all'altra.

Vi sono quattro portate di tensione continua: 1 V-10 V-100 V-1000 V. Quattro sono anche le portate per misure di corrente: 1 mA-10 mA-100 mA-1 A.

In tal modo può venir utilizzata una sola scala graduata. Può essere quella del milliamperometro, se il tester viene autocostruito. Essendo graduata da 0 a 1, corrisponde, oltre che alle misure sulla portata di 1 mA, anche per quelle sulla portata di 1 volt, nonchè per quelle di 1 ampere.

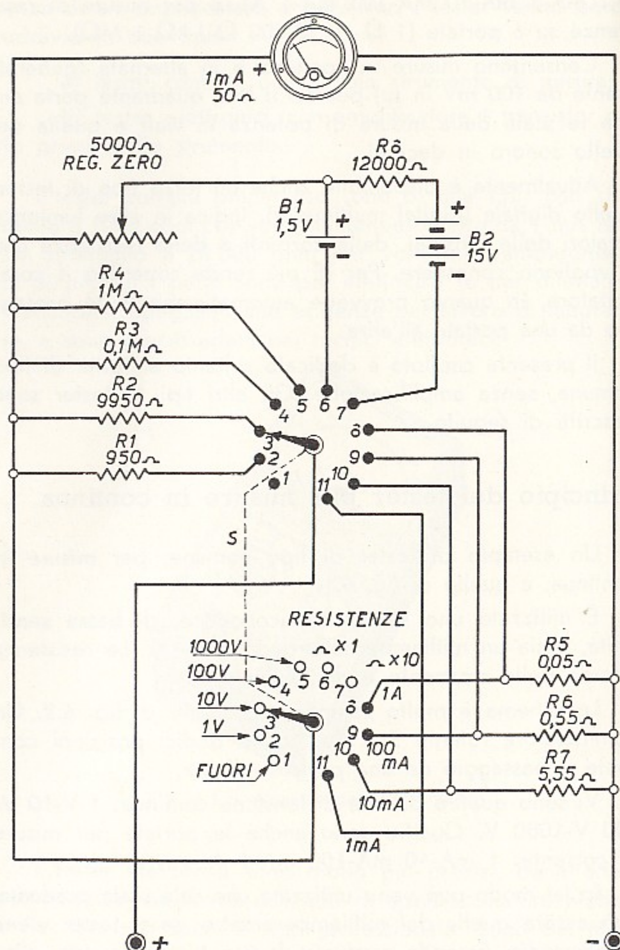


Fig. 6.2 – Schema di tester.

Le indicazioni dello strumento vanno moltiplicate a seconda della portata:

× 10 . . . . portate 10 V e 10 mA
× 100 . . . . portate 100 V e 100 mA
× 1000 . . . . portata 1000 V.

RESISTENZE PER LE MISURE DI TENSIONE

Le resistenze R_1, R_2, R_3 e R_4 corrispondono alle quattro portate di tensione. Per R_1 e R_2 il valore è minore di 50 ohm, rispetto a quello richiesto, essendo tale la resistenza interna dello strumento. Le quattro resistenze sono collegate in serie allo strumento, dal lato +. In figura, il commutatore è in posizione 3, per cui è inserita la resistenza R_2, di 9950 ohm, per la portata di 10 volt.

L'altra sezione del commutatore è aperta nelle posizioni da 1 a 7, per cui la tensione applicata alle prese (+) e (—) del tester risulta tra la resistenza R_2 e lo strumento.

La tolleranza delle 4 resistenze è del 2 %. La dissipazione in watt è minima, essendo di 0,001 watt. La potenza di 1/16 di watt è sufficiente. Per R_1 sono adeguate due resistenze in serie, una di 820 ohm e l'altra di 120 ohm. Per R_3 occorrono tre resistenze di 8200, 1200 e 100 ohm in serie. I valori di R_3 e R_4 sono normali.

RESISTENZE PER LE MISURE DI CORRENTE

Le tre resistenze per le misure di corrente, R_5, R_6 e R_7 sono di valore corrispondente alla resistenza interna dello strumento, di 50 ohm, come detto. Sono in parallelo al milliamperometro, per cui vengono usate ambedue le sezioni del commutatore, nelle posizioni 11, 10, 9 e 8.

Il valore di ciascuna resistenza è dato dal rapporto di moltiplicazione meno 1, sottratto da quello della resistenza interna. Per 10 mA è $50 : (10 - 1) = 50 : 9 = 5{,}5$ ohm. Per le altre due portate è $50 : (100 - 1) = 0{,}55$ ohm, e $50 : (1000 - 1) = 0{,}05$ ohm. Sono ottenute con filo di nichelcromo o constantana, come detto nel cap. 2°.

Con strumento da 27 ohm di resistenza interna, il valore delle tre resistenze è:

$R_5 = 27 : 9 = 3$ ohm
$R_6 = 27 : 99 = 0{,}27$ ohm
$R_7 = 27 : 999 = 0{,}027$ ohm.

MISURE DI RESISTENZA

Vi sono due portate, una con il valore di centro scala di 1500 ohm, e l'altra con il valore di 15 000 ohm.

Sulla prima portata si possono misurare resistenze da 100 ohm a 20 chiloohm; sulla seconda gli stessi valori moltiplicati per 10, ossia da 1000 ohm a 2000 chiloohm.

Sono utilizzate: una pila da 1,5 volt e una resistenza variabile di 5000 ohm, per la portata minore; una batteria da 15 volt e una resistenza da 12 000 ohm per la portata maggiore.

Collocando il commutatore in posizione 6 risulta inserita la portata minore. Cortocircuitando i terminali (+) e (—) del tester, e regolando la resistenza variabile si ottiene di spostare l'indice a fine scala, ossia a 0 ohm. La resistenza inserita è in tale caso di 1500 ohm. Infatti $I = E : R = 1{,}5\ V : 1500\ \Omega = 0{,}001\ A$ (1 mA).

Se, tolto il cortocircuito, tra i terminali (+) e (—) viene collocata una resistenza di 1500 ohm, essa fa spostare l'indice al centro scala, dato che $1{,}5\ V : 3000\ \Omega = 0{,}0005\ A$ (0,5 mA).

Alla portata maggiore, il cortocircuito consente la resistenza di 15 000 ohm e la batteria di 15 volt. La variabile va regolata a circa 3000 ohm.

SCHEMA COSTRUTTIVO

È quello di fig. 6.3. Il quadrante risulta con la doppia scala in mA e Ω. Non è però opportuno sostituire quello dello strumento poiché ciò potrebbe deteriorarlo. Per le portate

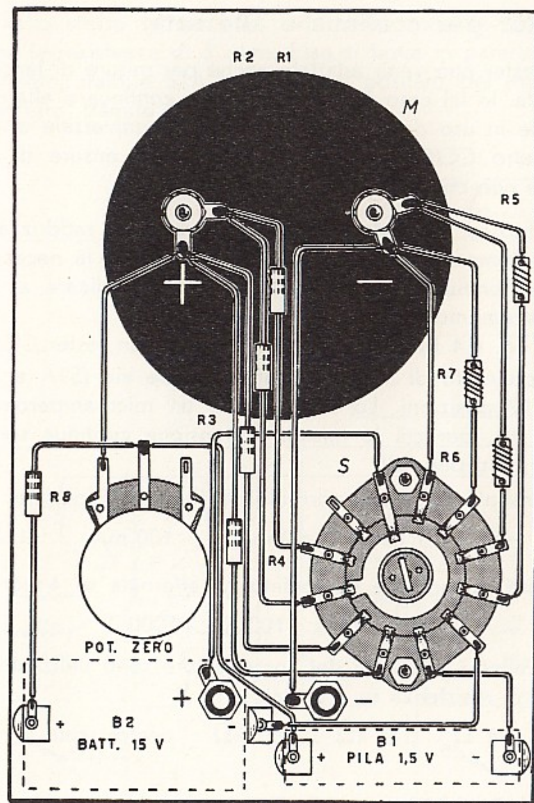


Fig. 6.3 - Componenti dietro il pannello frontale.

di tensione e di corrente può venir utilizzata la scala del milliamperometro, mentre i valori delle resistenze possono venir riassunti in una tabellina.

Il tester descritto è di tipo molto semplice, adatto solo per studenti e principianti.

Il tester per continua e alternata.

Il tester può venir adattato anche per misure di tensione alternata. In tal caso è detto tester per continua e alternata. È anche in uso denominarlo *analizzatore universale o volt-multimetro CC/CA*. Come detto, consente misure di *tensione* e non corrente alternata.

Differisce dal tester comune per avere un raddrizzatore con 4 elementi a ponte, in grado di ottenere la necessaria tensione ondulante in un senso solo, da applicare ai capi dello strumento.

La fig. 6.4 riporta lo schema tipico di un tester CC/CA.

È provvisto di un commutatore a due vie (S1A e S1B) ed a 12 posizioni. Lo strumento è un microamperometro da 50 μA, per cui le misure di tensione continua sono a 20 000 ohm per volt.

Consente misure di corrente continua su 5 portate:

0,1 mA   1 mA   10 mA   100 mA   1 A

e misure di tensione di continua o alternata su 4 portate:

1 V   10 V   100 V   1000 V.

Le altre 3 posizioni del commutatore sono utilizzate per misure di resistenza su 3 portate:

18 Ω   1,8 kΩ   180 kΩ   centro scala.

MISURE DI CORRENTE CONTINUA

Nello schema, il commutatore è in posizione 7, quella della portata di 10 mA. L'invertitore doppio (S3A e S3B) per il passaggio da CC a CA, è in posizione CC.

La corrente da misurare fluisce dal terminale negativo del tester (−) al commutatore S1B e dalla posizione 7 va allo strumento (−), superando S_2 in posizione X_1. A che cosa serva S_2 si vedrà presto.

Nello stesso tempo una parte della corrente attraversa anche la resistenza di 5 ohm. Essa si trova in parallelo allo strumento, tramite S1A collegato al positivo del microamperometro, tramite S3A.

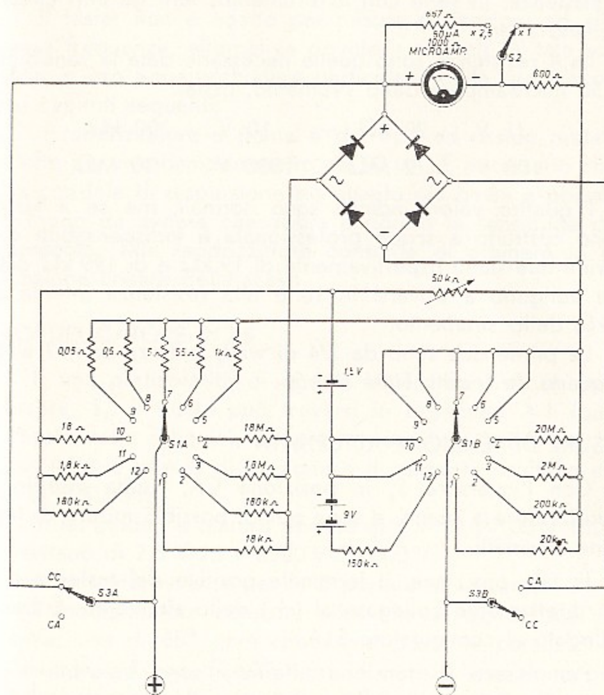


Fig. 6.4 - Tester a due sezioni.

Altrettanto avviene per le altre 4 posizioni: 5-6-8-9. Il valore delle 5 resistenze è quello indicato data la resistenza interna di 1000 ohm dello strumento.

MISURE DI TENSIONE CONTINUA

Sono utilizzate le posizioni 1-2-3-4 della sola sezione S1B del commutatore. L'inversore S_3 è ancora in posizione CC. La tensione da misurare risulta applicata ad una delle 4 resistenze, in serie con lo strumento; tutti gli altri circuiti risultano aperti.

Le 4 resistenze sono quelle necessarie data la sensibilità di 50 microampere dello strumento, ossia:

1 V . . . 20 kΩ	10 V . . . 200 kΩ
100 V . . . 2 MΩ	1000 V . . . 20 MΩ.

I quattro valori indicati sono normali, me se il tester viene costruito a scopo professionale è indispensabile che i primi due siano rispettivamente di 19 kΩ e di 199 kΩ dato che vengono a trovarsi in serie alla resistenza interna di 1 kΩ dello strumento.

Le prime due sono da 1/4 di watt, la terza da 1/2 watt, la quarta da 1 watt. Tutte al 2 %.

MISURE DI TENSIONE ALTERNATA

Con l'inversore S_3 in posizione CA, risulta inserito il raddrizzatore a ponte, e sono quindi possibili misure di tensione alternata.

In tale posizione, il terminale positivo del tester non è più direttamente collegato al (+) dello strumento. È bensì collegato al commutatore S1A.

Per misure di tensione alternata sono inseribili altre quattro resistenze, quelle collegate alle portate 1-2-3-4 della sezione S1A, in sostituzione di quelle per misure in continua. Il loro valore è tale da consentire misure di tensione efficaci, perciò è di 1,11 volte minore di quelle per cc., ossia 18 kΩ per 1 V, 180 kΩ per 10 V, 1,8 MΩ per 100 V e 18 MΩ per 1000 V. (La precisione della resistenza è del 2 %).

Va notato che la resistenza del raddrizzatore risulta in serie alle resistenze, per cui le letture risultano meno precise di quelle in continua. Alle portate più basse, l'errore è così elevato da non poter più ottenere misure, ma solo indicazioni.

Il tester non è adatto per misure di tensioni ad alta o bassa frequenza, alternative dovute a segnali. A tale scopo sono in uso apparecchiature particolari, delle quali è detto nei capitoli seguenti.

Il raddrizzatore a ponte è del tipo ad ossido metallico adatto per microamperometro da 50 μA. È necessario che la sua corrente di dispersione sia quanto più bassa è possibile, in modo da evitare che abbia a ridurre la sensibilità dello strumento. Tale raddrizzatore consente di ottenere la graduazione lineare della scala.

MOLTIPLICATORE ×2,5

È una particolarità di questo tester. Consiste in un inversore, S_2, il quale può trovarsi in posizione ×1 (quella indicata nello schema), oppure in posizione ×2,5, nel qual caso tutte le misure di tensione e di corrente risultano estese di 2,5 volte.

In tal modo, le quattro portate di 1 V-10 V-100 V-1000 V diventano di 2,5 V-25 V-2500 V-25 000 V.

Altrettanto avviene per le 5 portate di corrente.

Il moltiplicatore consiste, oltre che di S_2, di due resistenze, una di 667 ohm che viene posta in parallelo allo strumento, ed una di 600 ohm in serie. L'inserzione delle due resistenze, nella posizione ×2,5, ha l'effetto di ridurre la sensibilità dello strumento da 50 a 125 microampere.

Ne risulta che il tester dispone in questo semplice modo di 18 portate al posto di 9. Però un vantaggio così notevole non è senza inconveniente. Infatti, mentre nella posizione ×1, le misure di tensione vengono effettuate a 20 000 ohm per volt, in posizione ×2,5 sono ridotte a 8000 ohm per

volt. Per molte misure, questo fatto non ha alcuna particolare importanza, per altre invece risulta causa di aumento di errore.

MISURE DI RESISTENZA

Le posizioni 10, 11 e 12 sono riservate a misure di resistenza. Consentono misure approssimative entro una gamma molto estesa, da 0,1 ohm a 1 megaohm. Misure precise sono possibili solo in prossimità del centro scala di ciascuna portata, ossia intorno a 18 ohm, 1800 ohm e 180 chiloohm.

La resistenza variabile di 50 chiloohm consente di mettere a zero ohm il tester, cortocircuitando i suoi terminali.

Sono presenti una piletta da 1,5 volt e una batteria da 9 volt.

I tester sono provvisti di una scala graduata in ohm; le letture vanno riferite alle portate, se di produzione commerciale; quelli autocostruiti da dilettanti sono invece provvisti di una tabellina di riferimento.

Secondo esempio di tester per cc e ca.

Lo schema di fig. 6.5 si riferisce ad un tester con commutatore a quattro sezioni: S1A, S1B, S1C e S1D. A differenza degli schemi precedenti, questo risulta più razionale. Due sezioni (S1A e S1B in alto) provvedono ad inserire le resistenze per le misure di tensione in continua o in alternata, mentre le altre due (S1C e S1D) inseriscono quelle per le correnti in continua.

Anche l'inversore è a quattro vie (S2A, S2B, S2C e S2D). Sono comandate da un'unica manopolina, come è evidente. È a tre posizioni, anziché a due, le seguenti: tensioni continue, tensioni alternate e correnti.

Nello schema, il commutatore è in posizione 1, e l'inver-

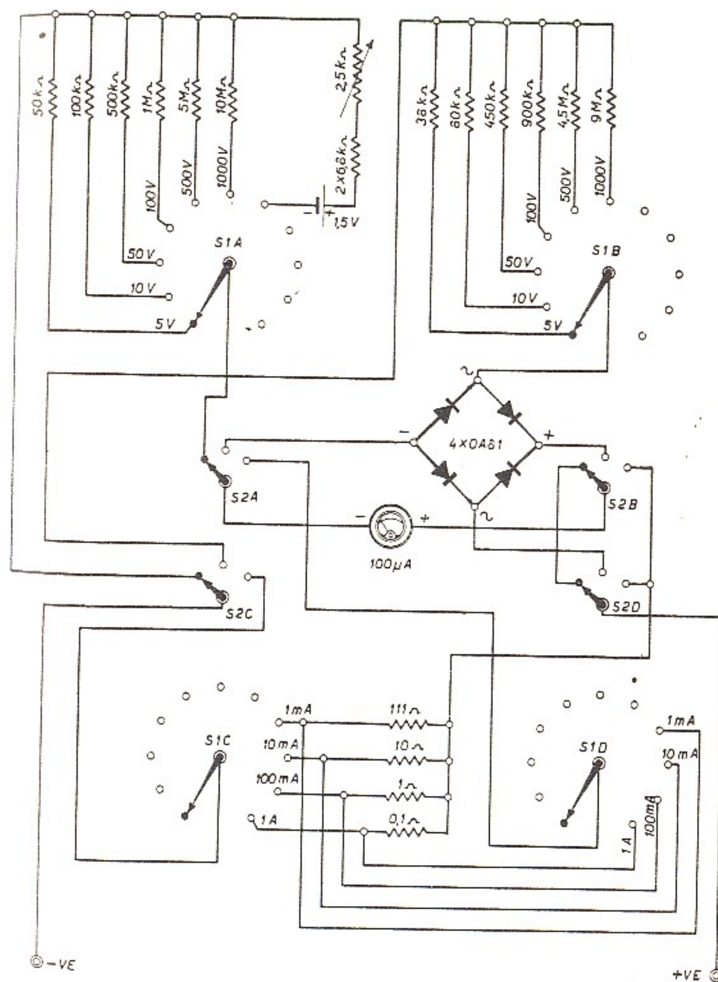


Fig. 6.5 - Altro multimetro per correnti continue e alternate.

sore in posizione tensioni continue. Sono perciò misurabili tensioni cc sino a 5 volt. Tutti gli altri circuiti sono completamente staccati.

Lo strumento è un microamperometro da 100 μA, con la resistenza interna di 1000 ohm. Le quattro resistenze per le correnti sono perciò proporzionate a tale resistenza, come detto nel capitolo secondo.

Il raddrizzatore è a quattro diodi OA81.

Per le resistenze vi è una sola portata, quella a 15 chiloohm centro scala. In serie alla pila da 1,5 volt sono indicate due resistenze fisse di 6800 ohm, in serie, in modo da ottenere il valore di 13,6 chiloohm. La resistenza variabile è di 2,5 chiloohm, a filo; consente precise regolazioni a 0 ohm.

Con strumento da 100 microampere, il tester risulta adatto per studenti e dilettanti. Per l'uso in laboratorio radiotecnico è necessario venga provvisto di strumento più sensibile, da 50 microampere. In tal caso, il valore delle resistenze per misure di tensione va raddoppiato, mentre quelle per misure di corrente vanno adeguate alla resistenza interna dello strumento.

Multitester Philips UTS-001.

L'analizzatore universale Philips, modello UTS-001, da 50 000 Ω/V di sensibilità, consente misure in corrente e tensione continue e alternate; ha quattro portate per misure di resistenze, tutte con le due pile incorporate; e infine permette anche la misura di uscita BF in dB.

Lo strumento è a bobina mobile a nucleo magnetico centrale, classe 1,5, con portata fondo scala di 16 μA e 9375 Ω.

Nonostante la sua alta sensibilità, è particolarmente robusto e affidabile, grazie alle sospensioni antiurto su cui è montato l'equipaggio mobile e alla assoluta insensibilità a campi magnetici esterni.

Un dispositivo a diodi protegge la bobina mobile da sovraccarichi. Un bulbo al neon, interno, ed un fusibile rapido da 3 A posto sul puntale rosso, proteggono l'intero circuito elettrico da errate inserzioni.

Le resistenze impiegate, del tipo a strato metallico, hanno tolleranza dell'1 %.

Le portate in volt c.c. sono otto: 300 mV - 1 V - 3V - 10 V - 30 V - 100 V - 300 V - 1 kV. In volt alternati, con sensibilità di 10 000 Ω/V, le portate sono sette: 1,5 V - 5 V - 15 V - 50 V - 150 V - 500 V - 1,5 kV.

Le portate amperometriche in continua sono sei e vanno

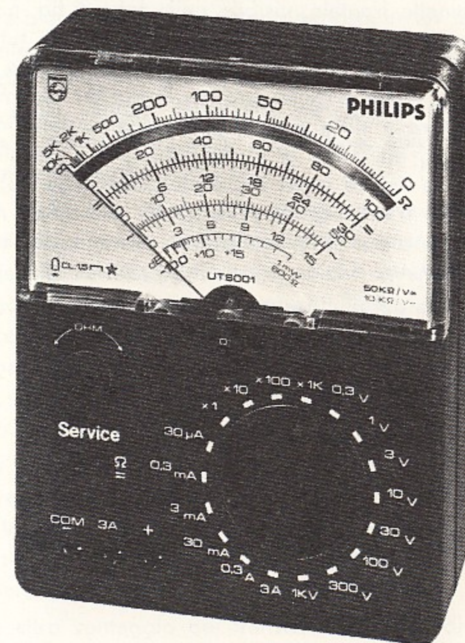


Fig. 6.6 – Multitester Philips mod. UTS-001.

da 30 μA f.s. a 3 A f.s.; in corrente alternata sono invece solo quattro: da 1,5 mA a 1,5 A.

Le portate in ohm sono quattro, come già detto: Ω×1 - Ω×10 - Ω×100 - Ω×1 k.

Sette sono infine le portate in uscita dB, da −20 a +66 dB. Per dB=0 è stato assunto il valore standard internazionale di 1 mW su 600 Ω=0,775 V. Per questa misura si procede come per volt c.a., interponendo in serie ad uno dei due puntali un condensatore in poliesteri da 0,047 μF/400 V.

La precisione del tester è del 2,5 % su tutte le portate, ad eccezione delle portate in c.a. per le quali la precisione è del 3 %. Monta due pilette a stilo da 1,5 V.

Sul pannello frontale, visibile nella foto di fig. 6.6, sotto l'ampia scala con quadrante a specchio vi sono tutti i comandi e le prese: il grande commutatore di portata, la manopola di regolazione dello zero per le portate ohmmetriche, il commutatore a slitta per passare dalle portate in c.c. a quelle in c.a., ed infine le tre boccole per i puntali di misura. Quella a sinistra è per il puntale nero (negativo), quella a destra è per il rosso (positivo) e quella al centro è riservata al puntale rosso per le sole misure di corrente continua nella portata 3 A f.s.

Lo schema del multitester è riportato alla Tav. A.

CAPITOLO SETTIMO

IL TESTER PROVA-TRANSISTOR

Verifica iniziale.

I transistor presentano il notevole vantaggio di funzionare in modo più stabile e duraturo delle valvole; è piuttosto raro trovare un transistor difettoso in un apparecchio ricevente. Presentano però lo svantaggio, anch'esso notevole, di funzionare con caratteristiche assai più incerte di quelle delle valvole, tanto che riesce abbastanza difficile trovare due transistor, dello stesso tipo, con caratteristiche perfettamente eguali.

Ne risulta che mentre una valvola nuova può venir impiegata senza alcuna particolare verifica, un nuovo transistor richiede una verifica preliminare, poichè diversamente il suo impiego può dar luogo a sorprese. Non si tratta tanto di conoscere esattamente quali siano le caratteristiche di funzionamento del transistor, quanto se esso è o non è efficiente, se esso può o non può venir utilizzato in un dato circuito.

Per questa ragione è indispensabile una certa pratica nella verifica dei transistor, anche se si dispone di un tester prova-transistor, tanto più che anche le indicazioni fornite dai tester sono incerte, e vanno interpretate in base alla personale esperienza.

Un altro vantaggio dei transistor è quello di consentire una sufficiente verifica con mezzi molto semplici, e in modo

sbrigativo. In pratica bastano due soli controlli: quello della *corrente di dispersione* e quello del *guadagno*.

Verifica della corrente di dispersione.

La prima verifica da fare è quella della corrente di dispersione, ossia della corrente che percorre il transistor in assenza di corrente di base, quando cioè il terminale di base è staccato. È una verifica semplicissima, poichè si tratta di collegare il transistor in serie con un milliamperometro, una batteria di pile e una resistenza limitatrice.

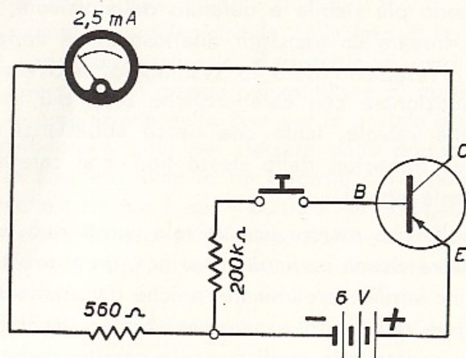


Fig. 7.1 - Principio per la verifica dei transistor.

La corrente di dispersione è detta anche *corrente collettore-emittore con base zero*, o *corrente di fuga* o anche *corrente inversa di saturazione*. È indicata con I_{CEO}, in cui 0 sta ad indicare « corrente di base zero ».

La fig. 7.1 indica il circuito di un semplicissimo *tester per transistor*. Il milliamperometro è da 2,5 mA fondo scala; la batteria è da 6 volt, la resistenza limitatrice è di 560 ohm. Durante la verifica della corrente di dispersione, la base è

staccata, come in figura. Lo strumento indica una certa intensità di corrente, la quale dipende dalla potenza del transistor in esame; è minima per i transistor a radio o a media frequenza, è maggiore per quelli ad audio frequenza e per i finali; è massima per i transistor di potenza da autoradio.

La batteria può essere di 1,5 o di 3 volt per la verifica dei transistor radio e MF, data la minima intensità di corrente che li percorre; può essere di 4,5 o di 6 volt per i transistor audio. Poichè la corrente di dispersione varia con la tensione della batteria, occorre effettuare la verifica con la stessa batteria per i transistor dello stesso tipo.

Per un transistor audio come l'AC188, la corrente di dispersione è normalmente di 200 microampere (0,2 mA); può essere inferiore, ad es. di 150 µA, oppure maggiore, ad es. di 250 o di 300 µA. Il transistor è da considerare normale per qualsiasi corrente di dispersione tra 150 e 300 µA.

La corrente di dispersione nei transistor al germanio è molto superiore a quella dei transistor al silicio. In questi ultimi è spesso difficilmente apprezzabile con i comuni prova-transistor. In ogni caso essa costituisce un limite al buon funzionamento del transistor, ed aumenta proporzionalmente all'aumentare della temperatura, mettendo in pericolo la stabilità del circuito.

A titolo d'esempio è riportato di seguito qualche valore di I_{CEO}.

CORRENTE DI DISPERSIONE DI ALCUNI TRANSISTOR

AC125	10	µA	BC107	15	nA
AC126	10	µA	BC109	15	nA
AC127	15	µA	BC157	1	nA
AC128	10	µA	BC158	1	nA
AC187	0,1	mA	BC177	100	nA
AC188	0,2	mA	BC238	5	nA

AF121	8	μA	AD161	500	μA
AF124	8	μA	AD162	200	μA
AF127	8	μA	BD115	550	μA
AF916	3	μA	BD124	0,5	μA
AD149	3	mA	BD131	50	μA

Apertura o cortocircuito.

La verifica della dispersione consente automaticamente di sapere se per caso il transistor in esame non sia aperto, con qualche connessione interna staccata, o in cortocircuito. Se la corrente di dispersione è zero, e l'indice rimane fermo all'inizio della scala, il transistor è aperto, ed è inutilizzabile; se la corrente di dispersione è invece eccessiva, e l'indice balza a fondo scala, il transistor è in cortocircuito.

VERIFICA DEL GUADAGNO

Il modo più semplice per constatare che un transistor è in condizione di poter amplificare, ed avere anche una idea della sua efficienza, è quello di collegare la sua base, tramite una resistenza di valore adeguato, al polo negativo della batteria. In figura, la resistenza è di 200 chiloohm; abbassando l'interruttore a pulsante, la base del transistor viene inserita in circuito, una certa corrente di base risulta presente, essa determina una notevole variazione nella corrente di collettore, e l'indice del milliamperometro si sposta ampiamente.

Tanto più ampio è lo spostamento dell'indice, tanto maggiore è l'efficienza del transistor quale amplificatore. Non si ottiene in questo semplice modo una indicazione precisa di quello che è il guadagno di corrente del transistor in esame, si riesce però a sapere se funziona o non funziona, e approssimativamente come funziona.

Effettuando varie verifiche con transistor in buona efficienza, si può approntare una tabellina con l'indicazione degli spostamenti dell'indice in corrispondenza dei transistor di diverso tipo. Per i transistor più comuni si può ricordare quale debba essere lo spostamento relativo al « guadagno ».

È possibile anche graduare una scala in valori di guadagno, in modo da ottenere una lettura immediata; occorre però complicare un po' il circuito, inserendo una resistenza variabile, come sarà detto in seguito.

Nell'esempio di figura, la resistenza essendo di 200 chiloohm e la tensione della batteria di 6 volt, la corrente di base è di 30 microampere. Se il transistor in esame è ancora un BC107, o simile, la corrente di collettore, indicata dallo strumento, è di circa 2 mA, con batteria di 6 volt. Utilizzando una batteria da 4,5 volt, la corrente risulta di 1,8 mA.

Un transistor di quel tipo, può dare una lettura inferiore, ad es. 1,5 mA, pur essendo ancora in buone condizioni di funzionamento. Se però essa risultasse di 1 mA soltanto, il transistor risulterebbe scarsamente efficiente. Con l'indicazione inferiore ad 1 mA, dovrebbe venir scartato.

È da tener presente che l'amplificazione è massima per i transistor radio (convertitori e amplificatori a MF), e per quelli audio di piccola potenza, media per i finali, e bassa per quelli di potenza.

L'efficienza del transistor in esame va sempre considerata tenendo conto della diversità tra la prima indicazione (dispersione) e la seconda (guadagno). Qualora la corrente di dispersione risultasse di 0,6 mA, per un transistor qualsiasi, e quella di guadagno risultasse di 0,8 mA, la differenza sarebbe troppo piccola, e il transistor da considerare inutilizzabile.

Con uno strumento ad una sola portata, come quello indicato, da 2,5 milliampere, non è possibile ottenere una indicazione precisa, poichè la corrente di base applicata è sempre di 30 microampere, per tutti i transistor. Essa determina un'ampia corrente di collettore per i transistor radio, come ad es. l'AF127, e solo una corrente modesta per i transistor audio.

Per poter effettuare verifiche più precise, è necessario escogitare complicazioni circuitali, in modo da poter adeguare meglio la corrente di base ai vari tipi di transistor; ne risulta una notevole varietà di tester per transistor. I tester più complessi consentono la verifica dei due tipi di transistor, gli NPN e i PNP, nonché la verifica dei diodi rivelatori ed eventualmente anche dei triac e SCR.

Semplicissimo tester per transistor PNP e NPN.

Nel modo più semplice è possibile effettuare la verifica dei transistor PNP e NPN utilizzando lo schema di fig. 7.2. È lo stesso schema della figura precedente, adattato anche per la verifica dei transistor NPN. Consiste del milliamperometro da 2,5 mA, di una batteria di 6 volt, tre resistenze, due interruttori a pulsante e due portatransistor.

Il transistor in esame va inserito nel proprio portatransistor; l'indice dello strumento indica subito la corrente di dispersione. Va quindi abbassato il pulsante dell'interruttore corrispondente. L'indice ha un balzo in avanti, e segna la nuova intensità di corrente, quella corrispondente al guadagno.

Una tabellina allegata al tester indica quale deve essere la prima e la seconda intensità di corrente, affinchè il transistor possa venir considerato normale.

La batteria può essere di tensione minore di quella in-

dicata, ad es. 3 o 4,5 volt. Lo strumento può essere di 3 mA anzichè di 2,5 mA; in tal caso la resistenza R_1 è di 680 ohm anzichè di 560 ohm. Non è opportuno adoperare

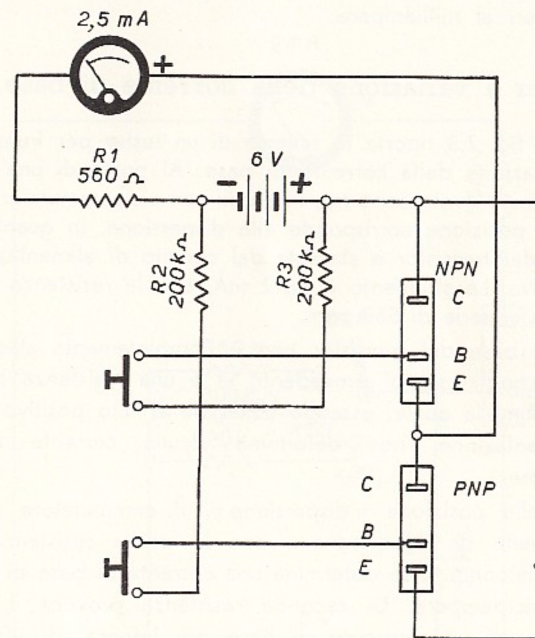


Fig. 7.2 - Schema di semplicissimo tester.

uno strumento da 5 mA fondo scala, poichè riescono meno leggibili le indicazioni relative alle correnti di dispersione. Non si può neppure utilizzare uno strumento da 1 mA, perchè anche con basse correnti di base, i transistor radio determinano forti correnti di collettore, di 2 mA ed oltre.

Lo strumento da 1 milliampere può venir utilizzato per il tester per transistor, purchè vengano utilizzate più resistenze, di valore diverso, nel circuito di base, in modo da adeguare la corrente di base a correnti di collettore non superiori al milliampere.

Tester a variazione della corrente di base.

La fig. 7.3 riporta lo schema di un tester per transistor a variazione della corrente di base. Al posto di una sola resistenza, ve ne sono tre, inseribili con un commutatore; la prima posizione corrisponde alla dispersione, in quanto la base del transistor è staccata dal circuito di alimentazione negativa. Lo strumento è da 2 mA, con la resistenza limitatrice in serie di 560 ohm.

La base del transistor non è completamente staccata, come negli esempi precedenti; vi è una resistenza di 51 chiloohm, la quale, essendo collegata al lato positivo dell'alimentazione, non determina alcuna corrente base-emittore.

Dalla posizione « dispersione », il commutatore passa in quella di « guadagno », con la prima resistenza, di 560 chiloohm. Essa determina una corrente di base di circa 10 microampere. La seconda resistenza provoca il passaggio di una corrente di base più intensa, di 20 μA, essendo di 300 chiloohm. La terza è di 120 chiloohm, e la corrente è di 40 μA.

Va prima verificata l'intensità della corrente di dispersione, quindi va misurata la corrente di collettore, con una delle tre resistenze inserite nel circuito di base. La corrente di dispersione va tolta da quella di collettore; il risultato va moltiplicato per il denominatore della frazione di 1 mA, corrispondente alla corrente di base.

I denominatori sono i seguenti:

100 per la resistenza di 560 kΩ (= 10 μA)
50 per la resistenza di 300 kΩ (= 20 μA)
10 per la resistenza di 120 kΩ (= 40 μA)

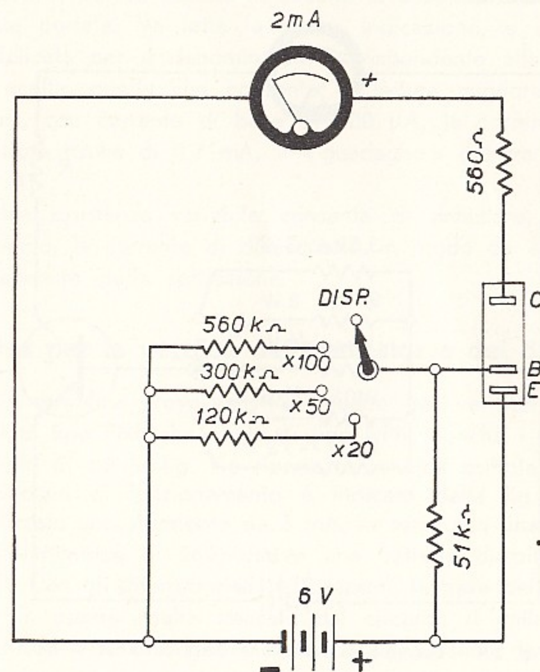


Fig. 7.3 - Tester con variazione della corrente di base.

Infatti, 100 × 10, 50 × 20, 100 × 10 danno sempre come risultato 1 000. La prima posizione corrisponde perciò ad un « guadagno » pari all'intensità della corrente moltiplicata per 100, la seconda per 50, la terza per 10.

Le indicazioni di « guadagno » fornite da questo tester sono solo approssimative, ma del tutto sufficienti per il lavoro di riparazioni o simile. Non sono adeguate quando sia necessario stabilire le caratteristiche di funzionamento dei transistor.

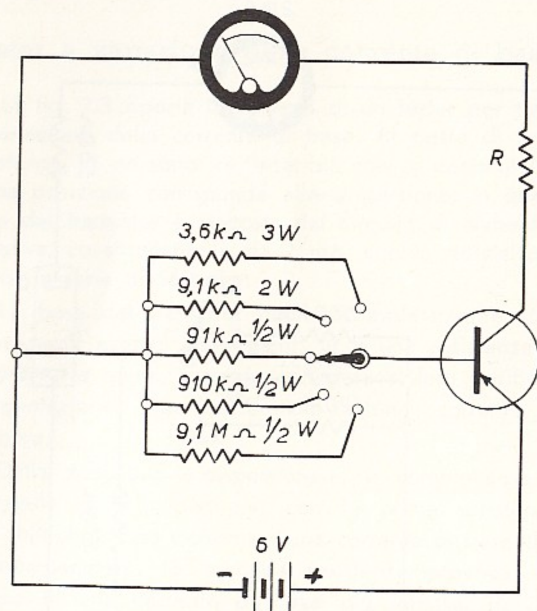


Fig. 7.4 - Esempio di variazione della corrente di base.

Variazione della corrente di base su 5 portate.

La fig. 7.4 mostra come può essere effettuata la variazione della corrente di base, durante la verifica del « guadagno » dei transistor, su 5 diverse portate.

Le resistenze sono quelle indicate nello schema; sono di valore preciso, con tolleranza dell'1 per cento. Esse

non sono sostituite con una resistenza variabile, per consentire di avere 5 portate precise, e quindi 5 denominatori. La verifica va effettuata come già detto, ossia va anzitutto misurata la corrente di dispersione, con corrente di base 0; poi va inserita in circuito la base, su una delle cinque portate. Va letta la nuova indicazione, e quindi moltiplicata per il denominatore corrispondente alla portata scelta, quella che consente la lettura migliore. Se, ad es., con corrente di base di 100 µA, la corrente di collettore risulta di 4,7 mA, il « guadagno » del transistor è di 47.

Una resistenza variabile consente di annullare, sullo strumento, la corrente di dispersione, in modo da evitare la necessità della sottrazione.

Tester per la verifica dei transistor e dei diodi.

Un semplice prova-transistor, adatto per verificare sia quelli di tipo PNP che quelli di tipo NPN, nonchè i diodi, è quello di cui la fig. 7.6 riporta lo schema complessivo. Il principio di funzionamento è indicato dalla fig. 7.5. È utilizzato uno strumento da 3 mA, in serie con una resistenza-limitatrice di 560 ohm e una batteria di pile da 6 volt. Con gli interruttori S_1 e S_2 aperti, la base del transistor in esame risulta staccata dal circuito; il collettore risulta collegato al negativo della batteria, tramite la resistenza-limitatrice e lo strumento. Il circuito è percorso dalla sola corrente di dispersione, in assenza di corrente di base.

È questa la prima indicazione che viene fornita dal prova-transistor. Chiudendo i due interruttori, viene inserito il controllo di guadagno, costituito da una resistenza variabile di 5 000 ohm, posta in parallelo alla batteria, nonchè

il terminale di base del transistor. La resistenza di 47 chilo-ohm provvede a limitare la corrente di base entro un valore di sicurezza.

Il controllo di guadagno è provvisto di una scala sulla quale è indicata la posizione corrispondente ai principali tipi di transistor in uso negli apparecchi radio. Portando l'indice sul punto corrispondente al transistor in esame,

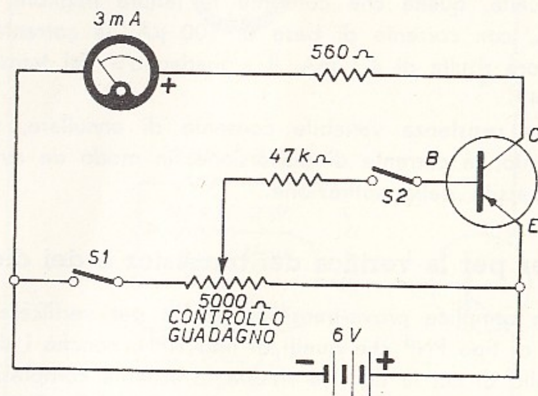


Fig. 7.5 - Semplice tester con strumento da 3 milliampere.

l'indice dello strumento deve andare al centro scala, ossia segnare 1,5 milliampere. Se è necessario oltrepassare l'indicazione, il transistor è tanto meno efficiente quanto più l'indice va oltre l'indicazione, per far segnare allo strumento la corrente indicata.

La fig. 7.6 indica come viene effettuata la commutazione per il passaggio dai transistor PNP a quelli NPN e ai diodi. È utilizzato un commutatore a tre vie e a tre posizioni; la posizione di sinistra corrisponde ai NPN, quella di destra ai PNP, e quella di centro ai diodi.

Per il passaggio dalla verifica della corrente di dispersione a quella di guadagno, è usato un particolare commutatore a pulsante. In figura, è nella posizione *dispersione* oppure corrente diretta diodi.

Quando il commutatore rotante, a tre posizioni, è nella posizione NPN o PNP, abbassando il pulsante viene inse-

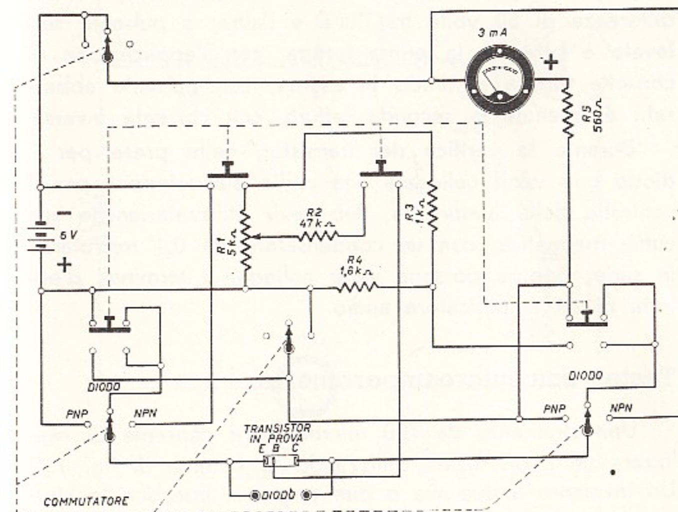


Fig. 7.6 - Schema di tester prova-transistor PNP e NPN.

rita in circuito la base del transistor, nonchè la resistenza variabile in parallelo alla batteria. Le due parti in alto, del commutatore a pulsante, sostituiscono gli interruttori S_1 e S_2 dello schema semplificato. Se si adopera il tester per i soli transistor PNP, esse sono sufficienti. Basta in tal caso un interruttore doppio, a pulsante.

Per i tipi NPN e per i diodi è necessaria l'inversione

della polarità della batteria, ed i circuiti risultano complessi solo per questa ragione.

Per la verifica dei diodi vi è un partitore di tensione formato dalle due resistenze R_3 e R_4; esso viene posto in parallelo alla batteria, in modo da ottenere una tensione di 2 volt, adatta per la verifica dei diodi UHF. Un diodo in condizioni normali fornisce due letture con una differenza di 50 volte tra l'una e l'altra; a pulsante sollevato è ottenuta la prima lettura, con l'applicazione di corrente diretta al diodo in esame; con pulsante abbassato è ottenuta la seconda lettura, con corrente inversa.

Durante la verifica dei transistor, nelle prese per il diodo può venir collegata una cuffia piezoelettrica per il controllo della rumorosità. Può venir utilizzata anche una cuffia magnetica, con un condensatore da 0,1 microfarad in serie; oppure possono venir collegati i terminali d'entrata di un amplificatore audio.

Tester con microamperometro.

Uno strumento da 100 microampere consente di realizzare un buon tester, utilizzando lo schema di fig. 7.7. Un inversore a due vie e due posizioni inserisce lo strumento in posizione « dispersione » o in posizione « guadagno ». Nella prima posizione, lo strumento è inserito tra la base del transistor in esame e il suo collettore, mentre l'emittore rimane staccato; nella seconda posizione, lo strumento è invece inserito tra l'emittore e il collettore, mentre la base del transistor può venir collegata al negativo della batteria, tramite la resistenza variabile R_1 e quella fissa R_2.

Questo tester consente anzitutto la misura della corrente collettore-base del transistor, in posizione « dispersione ». Tale corrente è di intensità molto ridotta, circa venti volte minore della I_{CEO} ed è indicata con I_{CBO}. Per misurarla è necessario uno strumento da 100 microampere, come det-

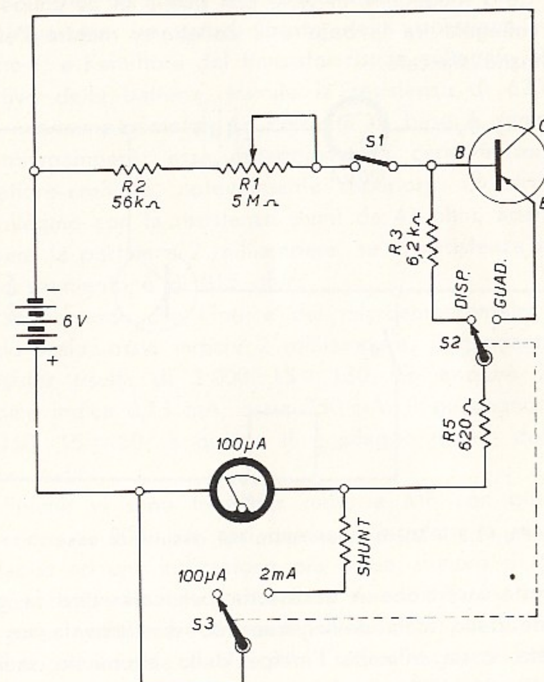


Fig. 7.7 – Schema di tester con microamperometro.

to; non è opportuno utilizzare uno strumento più sensibile essendo necessaria anche la portata di 2 milliampere.

La fig. 7.8 indica come risulta il circuito durante la verifica della corrente di dispersione; essendo l'interrut-

tore aperto, il collettore è collegato alla base, e nel circuito è inserito il microamperometro. A lettura effettuata, va chiuso l'interruttore S_1; in tal modo la resistenza variabile da 5 megaohm, in serie con quella di 56 chiloohm, viene collegata tra la base e il collettore, mentre l'emittore rimane staccato.

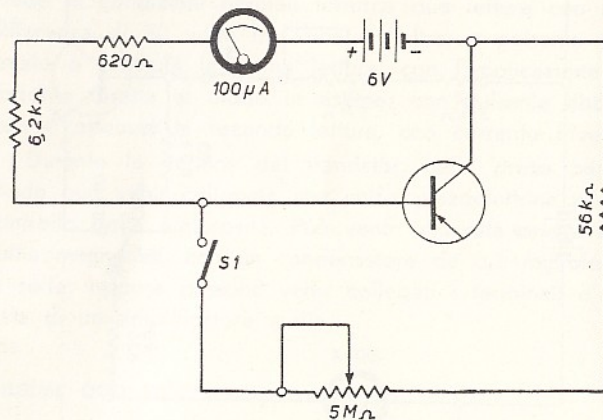


Fig. 7.8 – Microamperometro nel circuito di base.

Questa inserzione è necessaria per consentire la graduazione della scala dello strumento direttamente in valori beta, ossia affinchè l'indice dello strumento indichi quale sia il guadagno del transistor in esame. Senza la preventiva inserzione della resistenza variabile non è possibile alcuna graduazione; essa consente di riferire la seconda lettura ad una indicazione comune a tutti i transistor; tale indicazione può venir scelta arbitrariamente, può essere, ad es. di 10 o di 15 o di 20 microampere. Scelta ad es. quella di 15 microampere, qualunque sia la prima indicazione, essa va portata a 15 microampere, regolando la resistenza variabile. Se la corrente di dispersione fosse di 5 microampere, o di 8 microampere, la resistenza variabile va regolata in modo che lo strumento indichi 15 microampere, qualunque sia il transistor.

L'inversore va quindi posto nella posizione « guadagno », e l'emittore del transistor risulta collegato al polo positivo della batteria, tramite la resistenza di 620 ohm e il microamperometro. La corrente di base è sempre di 15 microampere; essa determina una certa corrente di collettore-emittore, notevolmente superiore. Lo strumento è collegato con la resistenza shunt da 43 ohm, adatta per elevare la portata a 2 milliampere, se la resistenza interna dello strumento è di 815 ohm.

Supponendo che l'indice del microamperometro sia a fondo scala, ossia indichi 2 milliampere, il guadagno del transistor risulta di 2 000 : 15 = 130. Se anzichè 2 mA, l'indice indica 0,75 mA, ossia 750 μA, il guadagno risulta di 750 : 15 = 50; è questo il guadagno medio dei transistor audio.

Poichè vi sono transistor radio e MF con guadagno superiore ai 200, per essi conviene regolare la resistenza variabile ad una indicazione più bassa, minore di 15 μA. È opportuno che tale indicazione sia di 7,5 μA, in modo da poter moltiplicare il guadagno indicato per 2. Se, con indicazione iniziale di 7,5 μA, l'indice segna 2 mA nella seconda posizione, il guadagno è di $130 \times 2 = 260$.

La stessa cosa si può fare per i transistor con corrente collettore-base superiore ai 15 microampere; in tal caso basta regolare a 30 μA e dividere per 2.

La scala di valori di guadagno va disegnata o applicata sul quadrante del milliamperometro; diversamente si può approntare una tabellina con i valori di guadagno in corrispondenza a quelli di intensità di corrente.

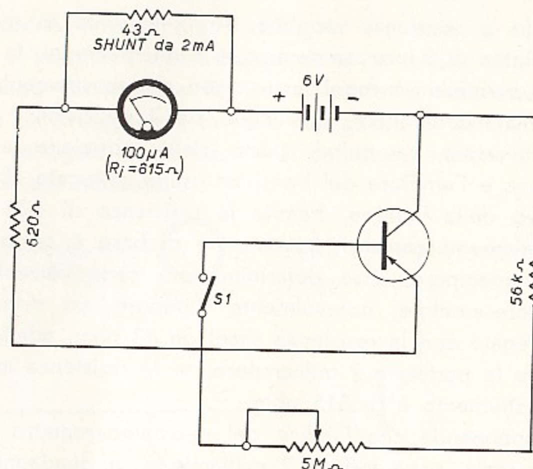


Fig. 7.9 - Microamperometro nel circuito di collettore.

La resistenza variabile non richiede, invece, nessuna graduazione, in quanto si tratta di una semplice regolazione; è solo necessario che essa sia tutta inserita, quando il tester non viene usato, in modo che all'inserimento del transistor, la corrente di base sia minima, quella consentita dall'intero valore delle due resistenze, ossia 5 megaohm più 56 chiloohm. È bene inteso che la resistenza variabile va regolata solo per ottenere la corrente di base di 15 μA (o di 7,5 o 30 μA), e che non va toccata una volta inserito il tester nella posizione « guadagno ».

Tester graduati in valore beta.

Alcuni tester sono provvisti di strumento di misura sul cui quadrante vi è la graduazione in valore beta, messa in scala. In generale, tale graduazione va da beta 10 a

beta 260. Qualsiasi tipo di transistor, esclusi quelli di potenza per autoradio, può venir controllato rapidamente; è sufficiente inserirlo nel portatransistor, e mettere in azione il tester; l'indice segna il valore beta.

Calibrazione.

Per ottenere il risultato di far indicare allo strumento il valore beta di qualsiasi transistor in esame, è necessaria una preventiva *calibrazione.* I tester di questo tipo sono perciò provvisti di una resistenza variabile, la quale consente di portare la seconda corrente di base ad un valore comune a tutti i transistor.

Si supponga, per chiarezza, di dover confrontare varie lunghezze in centimetri, tutte dello stesso rapporto, ad es. 120 cm e 8 cm, 300 cm e 20 cm, ecc. il rapporto è sempre lo stesso, essendo 15. Per quante possano essere le varie lunghezze, si possono tutte riferire ad una sola, scelta arbitrariamente. Invece di considerare 2, 20 ecc. si può scegliere 10. Se 8 si allunga a 10, e 20 si riduce a 10, 120 risulta allungato a 150, e 300 accorciato a 150. Il rapporto è sempre 15. Il valore beta è sempre 15.

Valore beta dei transistor.

L'efficienza dei transistor impiegati negli apparecchi radio è indicata dal loro *valore beta* (dalla lettera greca), il quale indica il guadagno di corrente di cui il transistor in esame è capace. Tale guadagno di corrente indica a sua volta la capacità del transistor di amplificare il segnale radio o audio. A ciascun tipo di transistor corrisponde un certo valore beta, entro determinati limiti di tolleranza. Ad es. ad un dato transistor può corrispondere il valore

beta medio di 50; tutti i transistor di quello stesso tipo con valore beta compreso tra 45 e 55 sono in ottime condizioni di funzionamento, date le incerte caratteristiche dei transistor.

Il valore beta è dato dal rapporto tra una piccola variazione nell'intensità della corrente di base per la variazione d'intensità nella corrente di collettore da essa provocata. Quindi se con corrente di base di 20 microampere la corrente di collettore è di 1 000 microampere, e con 25 di base è di 125 di collettore, il valore beta è

$$\text{Valore beta} = \frac{\text{Seconda corr. di collett.} - \text{Prima corr. di collett.}}{\text{Seconda corr. di base} - \text{Prima corr. di base}} =$$

$$= (1\,250 - 1\,000) : (25 - 20) = 250 : 5 = 50$$

Questa variazione tra la corrente di base e la corrente di collettore è normale per i transistor audio, utilizzati dopo il diodo rivelatore, negli apparecchi radio. Per i transistor radio o MF la variazione è maggiore e il beta è più grande. Può essere, ad es., che alla corrente di base di 20 µA corrisponda la corrente di collettore di 2 200 µA, e che a quella di base di 25 µA corrisponda quella di collettore di 3 200 µA. In tal caso

$$(3\,200 - 2\,200) : (25 - 20) = 1\,000 : 5 = 200$$

il valore beta è di 200.

Per poter effettuare la misura del valore beta è necessario che lo strumento passi dal circuito di base a quello di collettore, ciò che invece non avviene nei tester semplici, generalmente in uso nei laboratori dei radioriparatori o dei dilettanti costruttori. Potrebbe sembrare che

in tal modo sia impossibile qualsiasi misura di guadagno dei transistor; non è così perchè si tiene conto della corrente di base zero, quella con base staccata, e di una corrente di base che non viene misurata, ma che si sa quale sia, in base alla resistenza inserita nel circuito di base.

Se, con la base staccata, la corrente di collettore (= corrente di dispersione) è, ad es., di 150 µA, e se la resistenza è di valore tale da consentire il passaggio di 20 µA, data la tensione della batteria, passando dalla posizione « dispersione » alla posizione « guadagno » si ottiene la seconda corrente di collettore, quella con base a 20 µA. Supponendo che tale nuova corrente di collettore sia di 1 350 µA, si ottiene:

$$\frac{\text{Seconda corr. di collett.} - \text{Corr. di dispersione}}{\text{Seconda corrente di base}}$$

è inutile tener conto della prima corrente di base, essendo essa zero, per cui:

$$(1\,350 - 150) : 20 = 60$$

il valore beta è dunque di 60. S'intende che in questo caso la valutazione di beta non è precisa, e che non si può, a rigore, neppur riferirsi al valore beta, però l'indicazione fornita è del tutto sufficiente per consentire di valutare l'efficienza dei transistor anche con i semplici circuiti indicati in precedenza, tanto più che risulta poco lontana dal vero.

I tester con scala graduata in valore beta non forniscono indicazioni precise su tale valore, poichè non si basano su due piccole variazioni della corrente di base, e le corrispondenti variazioni nella corrente di collettore,

in quanto ciò complicherebbe troppo i circuiti. Essi si basano sulla corrente di base zero, alla quale corrisponde la corrente di dispersione. Il valore beta è riferito ad una unica corrente di base, valevole per tutti i transistor.

Sono provvisti di commutatore con due posizioni: « dispersione » e « guadagno », come i semplici tester già descritti; in più possiedono la resistenza variabile di calibrazione. Inserito il transistor in esame, essi consentono anzitutto di conoscere la corrente di dispersione. È quindi necessario regolare il calibratore, in modo da portare l'indice dello strumento su un segno della scala, corrispondente ad un certo valore di corrente base. Si passa poi nella posizione « guadagno », senza più toccare il calibratore. L'indice segna il valore beta, un valore approssimativo.

Misura precisa del valore beta.

I tester a scala graduata in beta hanno lo strumento sempre collegato nel circuito di collettore del transistor in esame. Per una misura precisa del valore beta è necessario poter commutare lo strumento dal circuito di collettore a quello di base, in modo da poter constatare quale sia l'effettiva variazione nella corrente di collettore, in corrispondenza ad una variazione della corrente di base.

La fig. 7.10 indica in *A*) uno schema di principio di tester di precisione; lo strumento da 100 microampere è inserito nel circuito di collettore in parallelo con una resistenza (shunt) adatta a consentirgli la misura di correnti di qualche milliampere. In *B*) lo stesso strumento, senza shunt, è inserito nel circuito di base. In tal modo non è necessario partire dalla corrente di base zero, si può ottenere la prima indicazione con una certa corrente di base, e la seconda con un'altra corrente di base, leggermente

maggiore. È possibile tracciare la curva caratteristica corrente collettore/corrente base, valendosi delle indicazioni fornite dallo strumento. Il valore beta va sempre calcolato

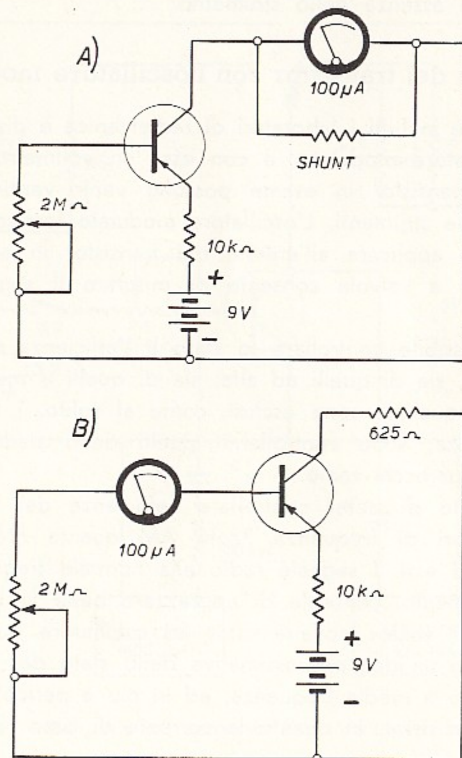


Fig. 7.10 - Controllo del valore beta.

nel modo indicato; lo strumento non può venir graduato in valore beta, ciò che del resto non è necessario, per uno strumento di precisione.

La resistenza di 625 ohm inserita nel circuito di collettore in *B*) è quella corrispondente alla resistenza interna dello strumento, necessaria per evitare variazioni di carico, in assenza dello strumento.

Verifica dei transistor con l'oscillatore modulato.

Poichè in tutti i laboratori di radiotecnica è disponibile un oscillatore modulato, e con esso un voltmetro a valvola, i transistor in esame possono venir verificati con questi due strumenti. L'oscillatore modulato fornisce il segnale da applicare all'entrata del transistor in esame, il voltmetro a valvola consente di misurare il segnale all'uscita.

È possibile controllare lo stato e l'efficienza di tutti i transistor, sia di quelli ad alta, sia di quelli a media o a bassa frequenza; sono esclusi, come al solito, i transistor di potenza; sono controllabili quelli dello stadio finale degli apparecchi radio.

Il fatto di poter controllare l'efficienza dei transistor convertitori di frequenza, tanto AM quanto FM, applicando ad essi il segnale radio alla normale frequenza di funzionamento, consente di apprezzare bene la loro efficienza. Il solito provatransistor ad oscillatore audio può dare solo un'idea approssimativa dello stato dei transistor a radio o a media frequenza, ed in più è pericoloso, per questi transistor, in quanto la corrente di base risulta eccessiva.

Per poter utilizzare l'oscillatore modulato e il voltmetro a valvola, è sufficiente un modesto apparecchio, realizzabile con pochi componenti. Può venir progettato a seconda delle esigenze, degli strumenti a disposizione, ecc.; la fig. 7.11 riporta lo schema di quello che può

essere tale strumento. È provvisto di una pila da 1,5 volt, e di due resistenze R_1 e R_2, per la verifica dei transistor radio e MF, e di una batteria da 6 volt, nonchè di tre

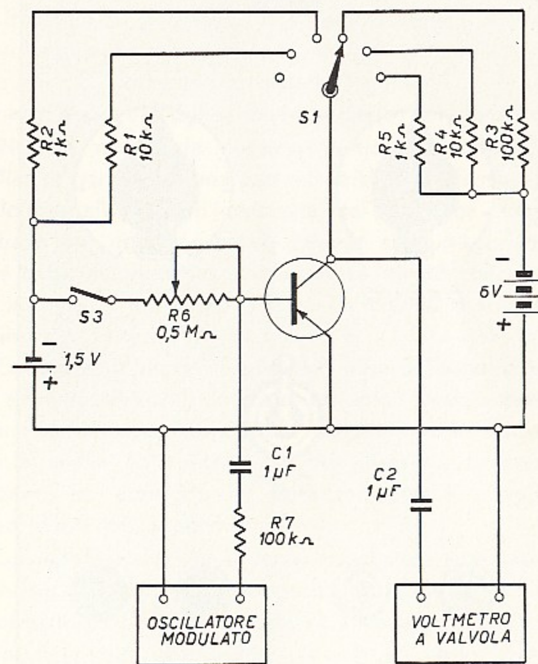


Fig. 7.11 - Controllo dei transistor con l'oscillatore modulato.

resistenze R_3, R_4 e R_5 per quella dei transistor audio. Nel circuito di base vi è una resistenza variabile R_6, da 0,5 megaohm, per fornire al transistor in esame la corrente di base appropriata.

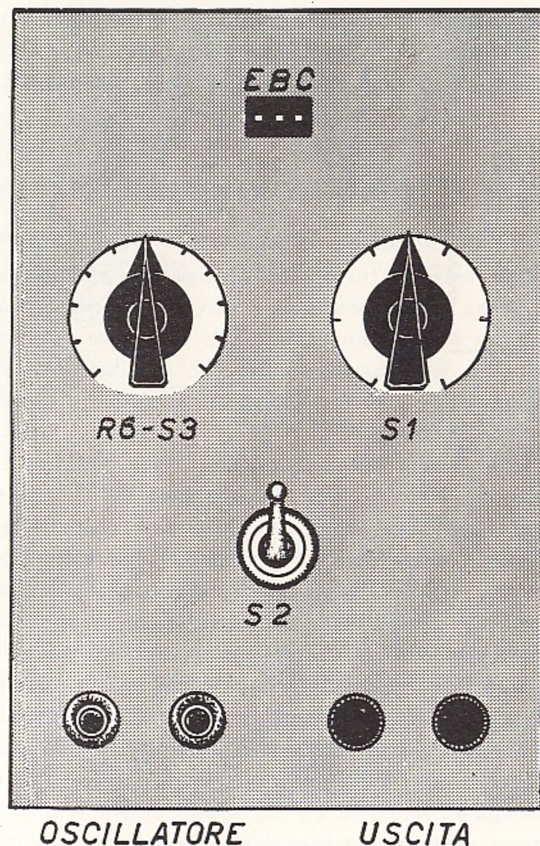


Fig. 7.12 - Strumento per il controllo con l'oscillatore.

L'oscillatore modulato va collegato all'entrata del transistor tramite un condensatore C_1 di 1 microfarad, in serie con una resistenza R_7 di 100 chiloohm. Il voltmetro a val-

vola va collegato all'uscita tramite un condensatore C_2 anch'esso di 1 microfarad. Sono due condensatori a carta.

L'inversore S_2 consente di collegare il voltmetro a valvola all'uscita dell'oscillatore modulato oppure a quella del transistor. Il primo va messo in funzione, e il voltmetro va collegato ad esso; quindi va collegato all'uscita del transistor. È possibile constatare l'aumento del segnale, prima e dopo l'amplificazione da parte del transistor.

Non è necessaria nessuna particolare cautela, salvo quella di tenere la resistenza variabile tutta inserita, in modo che all'atto dell'inserzione del transistor la corrente di base sia minima. Eventualmente si può collegare in serie a R_6 una resistenza fissa, ad es. di 68 chiloohm, per precauzione. L'interruttore S_3 è unito alla resistenza variabile.

La fig. 7.12 illustra quale può essere l'aspetto esterno dell'apparecchietto. È indicato un solo zoccolo portatransistor; se ne possono mettere due, come è evidente, e si può anche completare con tre morsetti, in corrispondenza ai tre elettrodi dei transistor, poichè a volte riescono d'uso più pratico.

La resistenza R_6 può venir completata con una scala graduata, indicante le varie posizioni adeguate ai vari tipi di transistor, ciò che comporta la necessità di una calibrazione. Essa può venir effettuata con un certo numero di transistor in buona efficienza e di vario tipo. Risulta facile stabilire la posizione migliore di R_6 anche per altri transistor, di altro tipo, una volta conosciuta quella per i transistor RF/MF e BF.

La fig. 7.13 indica la disposizione delle parti componenti nell'interno dell'apparecchietto.

Il voltmetro a 20 000 ohm per volt, generalmente usato per la verifica delle tensioni negli apparecchi a tran-

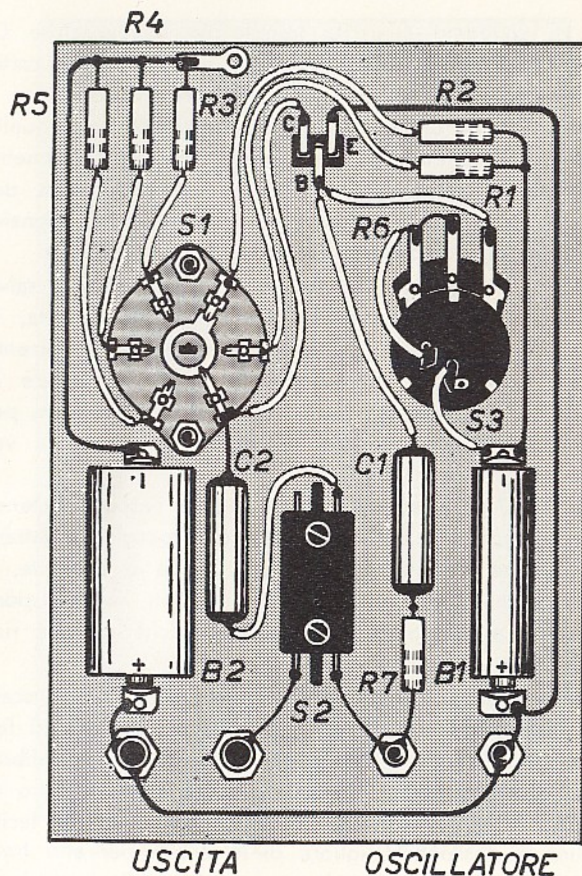


Fig. 7.13 - Componenti e collegamenti dello strumento di fig. 7.12.

sistor, non si presta molto bene in questo caso. È più adatto il voltmetro a valvola, su portata di 5 volt fondo scala.

Tester per transistor e diodi Grundig.

Il tester costruito dalla Grundig, mod. Semitest I, è quello di fig. 7.14. Consente verifiche rapide di transistor e di diodi. Lo schema è riportato dalla fig. 7.15.

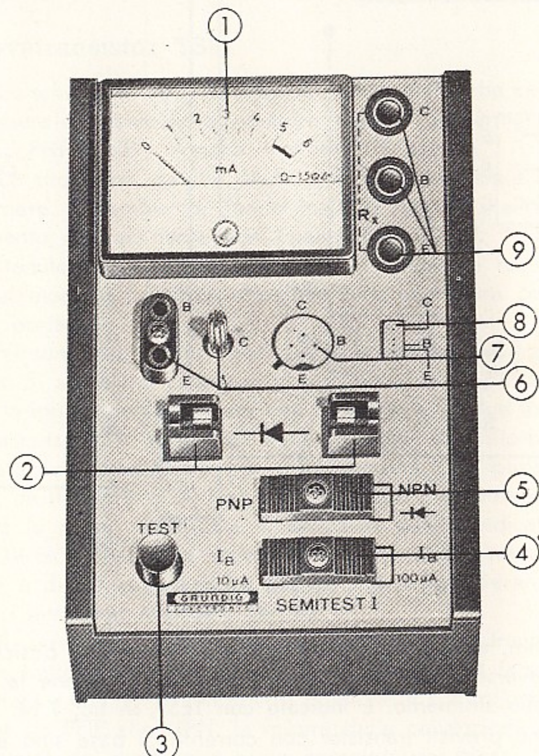


Fig. 7.14 - Prova-transistor Grundig.

Lo strumento è un milliamperometro da 6 mA. Il principio è quello di fig. 7.5. Il transistor in esame risulta collegato con il collettore alla resistenza di carico R_1 di

Fig. 7.15 - Schema del Semitest I.

860 ohm, e con la base ad un inversore a due posizioni, S_2. L'inversore è a pulsante. Premendolo si ottiene la lettura sullo strumento. È indicato con TEST, in fig. 7.14.

Sono previsti transistor con corrente di base sino a 10 e sino a 100 microampere, e con beta sino a 500 e sino a 50. Il passaggio da una portata all'altra è ottenuto con un inversore a slitta, S_3 in fig. 7.15 e (4) in fig. 7.14.

Il tester possiede un secondo inversore a slitta per il passaggio dai transistor PNP agli NPN. È l'S_1 e il (5).

È provvisto di terminali per la prova dei diodi. Le prese per i diodi sono due, indicate con (2). Le prese per i transistor sono tre: (6), (7) e (8). Ai lati dello strumento vi sono tre boccole per consentire l'eventuale inserzione di cavetti, qualora non fosse inserito il transistor sul tester.

Provatransistor TS9.

Lo schema di fig. 7.16 è quello di un tester che consente la misura e il controllo di qualsiasi transistor al germanio e al silicio PNP e NPN, nonché di diodi SCR e triac.

Lo strumento, da 200 µA f.s., ha due scale tarate in milliampere, entrambe con fondo scala di 70 mA, ma con andamento marcatamente non lineare (vedasi fig. 7.17); ciò è ottenuto shuntando lo strumento con diodi e resistenze. In tal modo è possibile effettuare tutte le misure con una sola portata.

Vi sono due commutatori rotanti a quattro vie, tre posizioni. S_1 serve per la misura di I_{CEO} nella prima posizione e per la misura dell'amplificazione di corrente su due livelli di polarizzazione di base (posizione I_{C1} e I_{C2}). La differenza di queste due correnti misurate in milliampere, moltiplicata per 100, dà il valore di β. Nel caso di transistor di potenza, anziché la presa « SMALL » si utilizzerà quella indicata con « POWER », nel qual caso l'incremento della corrente di base è di 0,1 mA, anziché di 0,01 mA e la differenza dei valori letti va moltiplicata per 10.

S_2 serve per l'inversione della polarità dello strumento e della batteria, e per l'esclusione di quest'ultima (posizione centrale « OFF »). Si rende così possibile il controllo di transistor sia PNP che NPN, la misura della conduzione diretta e inversa dei diodi, e la prova completa dei triac.

Nella prova degli SCR le posizioni di S_1 permettono i seguenti controlli: nella posizione 2 (I_{C1}) non si deve registrare conduzione alcuna poiché il semiconduttore è alimentato, ma il gate è aperto; nella posizione 3 (I_{C2}) si ha con-

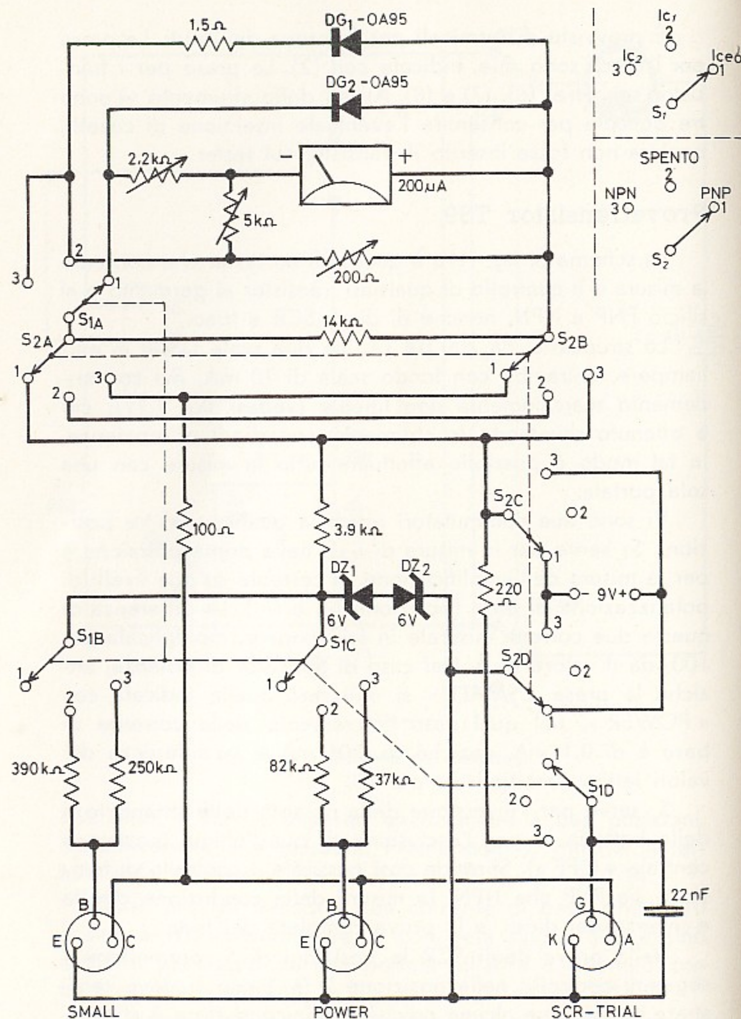


Fig. 7.16 - Schema elettrico di provatransistor, SCR e triac.

duzione (indice a fondo scala) e questa condizione permane anche riportando S_1 su I_{C1}. Per tornare in regime di non conduzione basta ruotare S_1 su I_{CEO}. Durante queste prove S_2 deve essere in posizione NPN.

Per la prova dei triac si agisce nello stesso modo, verificando le stesse condizioni, ma tutte le operazioni descritte vanno ripetute anche col commutatore S_2 su PNP.

Vi sono tre prese a tre piedini, per transistor di piccola potenza (SMALL), per transistor di potenza (POWER), e per diodi controllati (SCR-TRIAC).

L'alimentazione è ottenuta con una batteria di 9 volt; la tensione di polarizzazione è però stabilizzata a 6 V con due diodi zener.

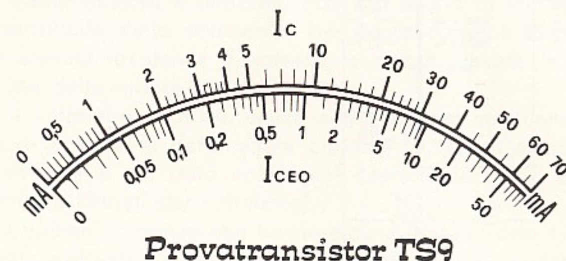


Fig. 7.17 - La doppia scala non lineare del provatransistor TS9.

Transistor tester Chinaglia

La fig. 7.18 riporta lo schema elettrico di un analizzatore progettato per la misura della I_{CEO} e del β dei transistor, e della I_{DSS} dei FET.

Monta uno strumento da 50 μA f.s. di sensibilità, il che permette la misura della I_{CEO} su tre portate: 50 μA per transistor al silicio, 500 μA per transistor al germanio di piccola potenza, 5 mA per transistor di potenza al germanio.

Fig. 7.18 – Schema elettrico del transistor tester Chinaglia.

La corrente di saturazione Drain-Source per i FET (I_{DSS}) è misurata su una portata fondo scala di 15 mA. Occorre tener presente che tale misura viene effettuata con una tensione drain-source (V_{DS}) di 3 V. La misura del guadagno di corrente β si può fare su due portate (×1 e ×10) della scala da 0 a 100 β.

Vi è un commutatore di portata a 6 posizioni, un deviatore a slitta a tre posizioni rispettivamente PNP, NPN e SPENTO; e tre boccole per l'inserzione di transistor, FET o diodi in prova.

CAPITOLO OTTAVO

IL VOLTMETRO ELETTRONICO

Utilità del voltmetro elettronico.

È elettronico il voltmetro quando il suo strumento di misura è preceduto da un amplificatore.

L'amplificatore è utilizzato non allo scopo di aumentare la sensibilità dello strumento, bensì per consentire misure con elevata resistenza d'ingresso, e quindi elevare la precisione delle misure stesse.

Il voltmetro comune, senza amplificatore, non consente misure precise in determinate circostanze. Quali siano tali circostanze è già stato notato nel capitolo terzo (v. *Errori di misura causati dal voltmetro*).

I voltmetri comuni non hanno alcuna portata sotto 1 volt. Quelli elettronici sono invece provvisti di più portate in millivolt.

A prima vista potrebbe sembrare molto semplice aggiungere tali portate a qualsiasi voltmetro comune. In realtà, esse risulterebbero del tutto inutilizzabili.

Se, infatti, il voltmetro è provvisto di uno strumento da 50 microampere, alla portata di 1 volt corrisponde la resistenza di 20 000 ohm. È un voltmetro da 20 000 ohm per volt.

Con tale resistenza d'ingresso, la precisione risulta insufficiente, qualora la tensione da misurare sia presente ai capi di una resistenza di valore non molto basso, ad es. quella di collettore di un transistor di 47 chiloohm. In tal caso, l'errore risulta molto forte.

La portata a 0,3 volt richiederebbe una resistenza di 6000 ohm; quella di 0,1 volt, una resistenza di 2000 ohm. Con simili valori resistivi, l'errore di lettura oltrepasserebbe spesso il 50 %.

La presenza dell'amplificatore consente misure precise anche nelle portate in millivolt, poichè la sua resistenza d'ingresso è elevatissima. Può essere di 10 megaohm, o anche di 20 e di 30 megaohm.

È però necessario un amplificatore apposito, con un transistor (o una coppia di transistor) *ad effetto di campo* (FET) all'entrata, oppure a valvole. I FET presentano resistenze d'ingresso molto elevate, pari a quelle delle valvole.

È per questa ragione che il *voltmetro a valvola* risultò per molti anni uno strumento insostituibile nel laboratorio radiotecnico, ed è ancor oggi largamente impiegato. Essendo ormai superato, la sua descrizione è stata collocata in fondo al presente volume.

Categorie di voltmetri elettronici.

Il voltmetro ad amplificatore più semplice è quello *per misure di tensioni continue*, su due gruppi di portate, in millivolt e in volt. Possono essere le seguenti:

a) portate in millivolt:		10	30	100	300 mV;	
b) portate in volt:	1	10	30	100	300	1000 V.

Segue il voltmetro elettronico adatto anche *per misure di tensioni e di correnti*, tanto *continue* quanto *alternate*. Generalmente consente anche *misure di resistenza*.

Per distinguerlo dal precedente, è denominato *multimetro elettronico*.

Un altro tipo di voltmetro elettronico, anch'esso molto in uso nei laboratori, è quello adatto soltanto per *misure di segnali*, a bassa o ad alta frequenza. Misura *anche* tensioni alternate, ma la sua caratteristica saliente è quella di consentire misure di segnali sino a frequenze molto elevate.

Questo terzo tipo di voltmetro elettronico viene denominato *millivoltmetro elettronico*, per poterlo distinguere dagli altri due, benchè siano anch'essi dei millivoltmetri. La denominazione *misuratori d'uscita* non è più in uso.

Ne consegue che esistono i seguenti tre tipi di strumenti elettronici, per laboratori radiotecnici:

a) voltmetri elettronici, per sole misure di tensione continua;

b) multimetri elettronici, per tutte le misure;

c) millivoltmetri elettronici, per sole misure di tensione alternata (segnali BF e AF).

Il presente capitolo è dedicato ai voltmetri elettronici. Il capitolo 9 è dedicato ai multimetri, e il capitolo 10 ai millivoltmetri.

Principio basilare.

È illustrato dalla fig. 8.1. L'amplificatore è ad un solo stadio, a due transistor in circuito a differenza. La tensione continua da misurare è applicata alla base dei due transistor. A seconda della polarità, provoca un aumento della tensione di polarizzazione di base di uno dei transistor, ed una diminuzione della tensione di base dell'altro.

Gli emittori dei due transistor sono runiti. In tal modo, lo stadio funziona a differenza, in quanto ad una variazione nella corrente di collettore di uno di essi, corrisponde una analoga variazione, in senso opposto, nell'altro transistor.

In figura, con R_1 e R_2 sono indicate le resistenze di carico dei due transistor; con R_3 e R_4 sono indicate le due resistenze del circuito di emittore comune.

Lo strumento di misura è collegato tra i due collettori. Indica la variazione complessiva. La resistenza R_5 consente di adeguare la sensibilità dello strumento.

In assenza di tensione da misurare è possibile portare a 0 l'indice dello strumento, eliminando qualsiasi differenza

di corrente dei due collettori. È quanto si ottiene con la regolazione di R_3.

Le resistenze R_6 e R_7 sono quelle di base dei due transistor. Infine, le resistenze R_8 e R_9 raffigurano quelle delle varie portate di tensione.

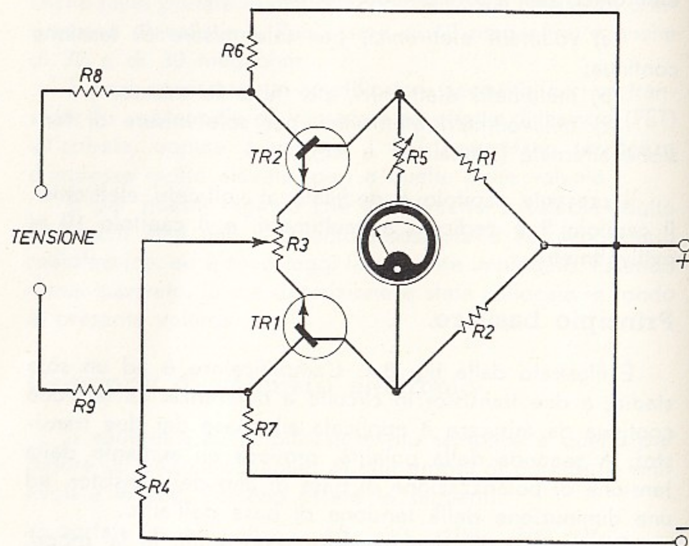


Fig. 8.1 – Principio del voltmetro elettronico.

Lo stadio amplificatore è stato disegnato a ponte, per mettere in evidenza che esso si comporta come un *ponte di misura*. Lo strumento indica che il ponte è in equilibrio, quando segna zero.

(Il principio del ponte di misura è stato illustrato nel capitolo quinto).

Nei voltmetri elettronici vi sono generalmente due stadi a differenza, anzichè uno solo. Il primo stadio, quello d'entrata, funziona con transistor ad effetto di campo. Esso pilota il secondo stadio, con una coppia di transistor amplificatori. Lo strumento è inserito tra le due uscite del secondo stadio.

Al secondo stadio può far seguito un terzo stadio, non a differenza, come i primi due, bensì a simmetria complementare. Il circuito rivelatore, comprendente lo strumento di misura, si trova all'uscita di tale terzo stadio.

Il principio basilare è sempre quello di far sì che la tensione da misurare determini due variazioni eguali e opposte.

Esempio di piccolo voltmetro elettronico.

Quello di fig. 8.2 è lo schema di un modesto voltmetro elettronico, adatto per principianti. È l'applicazione pratica del ponte di misura di fig. 8.1.

I riferimenti sono i seguenti:

R_1 e R_2	4,7 chiloohm
R_3	1 chiloohm variabile
R_4	2,2 chiloohm
R_5	quattro resistenze trimmer da 5 chiloohm
R_6	120+220 chiloohm
R_7	50 (var.)+120+180 chiloohm
R_8 e R_9	2,2 3,3 5,5 8,2 chiloohm.

Invece di una resistenza di base, sono stati utilizzati due partitori di tensione per la polarizzazione. Il transistor TR_1 ha all'entrata il partitore di 220 kΩ+120 kΩ. L'altro transistor, TR_2, ha il partitore a valore regolabile, in modo da poter egualizzare le due correnti di collettore. Al posto della resistenza di 220 kΩ vi sono perciò una trimmer di 50 kΩ ed una fissa, in serie, di 180 kΩ.

Lo stadio è a differenza, per cui i due emittori sono

riuniti con una resistenza di azzeramento di 1 kΩ a filo. Consente di eliminare qualsiasi differenza di tensione tra i due emittori, e quindi tra i due collettori, e perciò di portare a zero l'indice dello strumento.

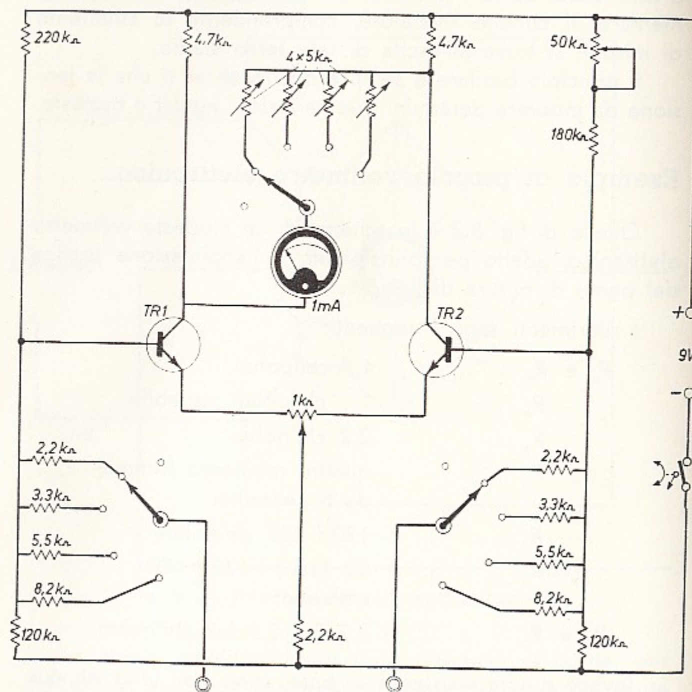


Fig. 8.2 - Esempio di voltmetro elettronico molto semplice.

Come indicato nello schema, si tratta di un semplice milliamperometro, sensibilità 1 mA. È del tutto sufficiente, date le limitate prestazioni richieste da questo voltmetro elettronico.

Consente misure di tensione continua su quattro portate, le seguenti:

1 volt	resistenza da 2,2 kΩ
2,5 volt	resistenza da 3,3 kΩ
10 volt	resistenza da 5,5 kΩ
25 volt	resistenza da 8,2 kΩ.

Un commutatore a tre vie ed a cinque posizioni determina il passaggio da una portata all'altra. La terza via è indispensabile poichè, data la disposizione circuitale, è necessaria una diversa sensibilità dello strumento per ciascuna portata.

Le quattro resistenze trimmer da 5 kΩ ciascuna costituiscono un inconveniente di poco conto. Con esse possono venir evitate disposizioni circuitali più complesse, adatte per altri tipi di voltmetri elettronici.

La tensione da misurare risulta applicata, tramite una coppia di resistenze dell'attenuatore, alla base dell'uno e dell'altro transistor. In sua assenza, il commutatore è nella quinta posizione, quella di « fuori ».

I due transistor sono a silicio, tipo BC108. La batteria è da 9 volt. La tensione di collettore è di circa 7,5 volt, e la corrente quiescente di 0,7 mA, per ciascun transistor.

Sulle quattro portate indicate, la precisione di misura è nettamente superiore a quella ottenibile con un voltmetro comune provvisto di microamperometro da 50 μA.

Esempio di voltmetro elettronico a due stadi.

Con due stadi a differenza, e perciò con quattro transistor, si ottiene un amplificatore bene adatto per voltmetro elettronico da laboratorio.

Mentre con un solo stadio d'amplificazione le portate di tensione possono aver inizio con quella da 1 volt, con due stadi la portata più bassa può essere quella da 10 millivolt.

Con la portata da 10 millivolt, sono opportune altre tre portate, tutte inferiori ad 1 volt. Necessarie sono, inoltre, le solite tre portate sopra quella da 1 volt, per cui con due stadi d'amplificazione a differenza, le portate possono essere le seguenti otto:

a) portata in millivolt: 10 mV 32 mV 100 mV 320 mV
b) portate in volt: 1 V 3,2 V 10 V 32 V.

La precisione delle misure ottenibili è notevole, poichè il valore ohm/volt è di 1 megaohm per tutte le quattro portate voltmetriche. Per quelle millivoltmetriche è minore ma sufficiente, dato che alla portata più bassa, quella di 10 millivolt, è ancora abbastanza elevato, di 100 chiloohm.

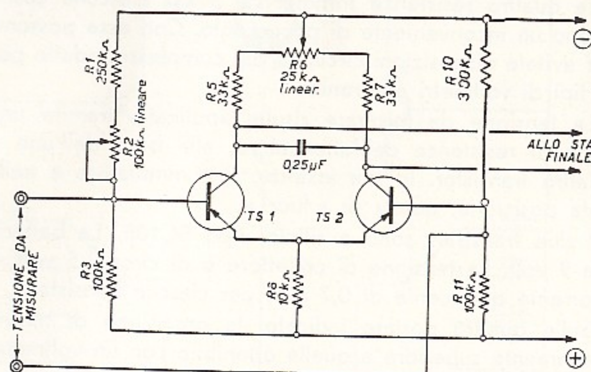


Fig. 8.3 - Principio dello stadio a differenza di VE.

L'AMPLIFICATORE

I due stadi dell'amplificatore sono del tipo già descritto, ossia a differenza. Essi consentono di ottenere due variazioni di corrente di collettore eguali ed opposte, in corrispondenza della tensione da misurare.

La fig. 8.3 indica i circuiti del primo stadio, quello di entrata. La base dei due transistor TS_1 e TS_2 è polarizzata con il

proprio partitore di tensione: $R_1+R_2+R_3$ per TS_1 e $R_{10}+R_{11}$ per TS_2. La resistenza d'ingresso (R_3 e R_{11}) è di 100 chiloohm.

Data la disposizione differenziale dello stadio, la tensione da misurare è applicata alla base tanto di uno quanto dell'altro dei due transistor.

I transistor sono di tipo PNP, per cui la tensione applicata determina l'aumento della polarizzazione di TS_1, e la diminuzione della polarizzazione di TS_2, oppure viceversa.

Sono in tal modo disponibili, all'uscita dei due transistor, due variazioni di corrente di collettore eguali ed opposte. Vengono utilizzate per pilotare la coppia di transistor del secondo stadio.

Affinchè le due variazioni di tensione risultino della stessa ampiezza, il carico di collettore di TS_1 e di TS_2 può venir eguagliato, con la regolazione della resistenza variabile R_6, di 25 chiloohm.

È anche necessario che i due transistor funzionino con il punto di lavoro al centro del tratto rettilineo della loro curva caratteristica. A tale scopo, il partitore di TS_1 comprende la resistenza variabile R_2, di 100 chiloohm.

Lo strumento, da 100 microampere, è collegato tra i due emittori dei transistor TS_3 e TS_4 (fig. 8.4). A tale scopo, la resistenza comune di emittore R_{14}, ha due « braccia » costituite da R_{12} e R_{13}. Il valore di queste due resistenze è tale da consentire l'intera escursione dell'indice dello strumento, in corrispondenza ad una variazione della tensione di base di TS_1 e di TS_2, di 10 millivolt. È anche adeguato alla sensibilità dello strumento.

In serie al microamperometro è collocata la resistenza variabile necessaria per adeguarne la sensibilità.

LA CALIBRAZIONE DELL'AMPLIFICATORE

Per consentire precise misure di tensione, il voltmetro elettronico deve possedere un amplificatore che possa venir calibrato. È per questa ragione che possiede una pila da 1,5 volt.

La calibrazione avviene in due tempi. Per prima cosa, lo strumento va staccato dai transistor TS_3 e TS_4. La pila, con una resistenza in serie di 22 chiloohm, fornisce la corrente *di riferimento*. È di circa 60 microampere.

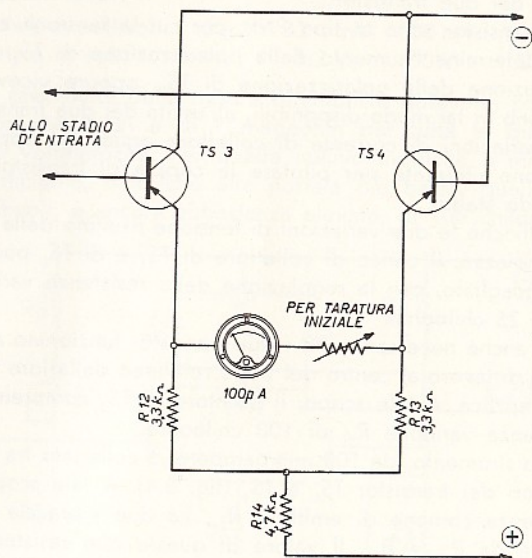


Fig. 8.4 - I transistor di entrata.

Successivamente, lo strumento va ricollegato agli emittori di TS_3 e TS_4, mentre la pila viene utilizzata per fornire la corrente di riferimento da far giungere all'entrata dell'amplificatore, ossia alla base di TS_1 e TS_2.

La resistenza di 22 chiloohm va sostituita con altra di valore 100 volte maggiore, ossia di 2,2 megaohm. Segue, infine, la calibrazione vera e propria, regolando l'apposita resistenza variabile. È indicata con R_9 nello schema complessivo dell'amplificatore, riportato dalla fig. 8.5. Consiste

nell'ottenere di nuovo l'indicazione da parte dello strumento, quella stessa fornita con la resistenza di 22 chiloohm.

La calibrazione rimane costante solo se le tensioni di lavoro dei quattro transistor rimangono inalterate. La batteria di alimentazione tende invece ad esaurirsi. Occorre evitare una diminuzione di tensione di alimentazione. È quanto si può fare calibrando l'amplificatore ad una tensione minore, e provvedere affinchè rimanga costante, regolando di tanto in tanto la resistenza variabile R_{19}.

Essendo la tensione della batteria di 9 volt, quella di lavoro è stata stabilita a 7,2 volt. Per poter facilmente controllarla, il microamperometro viene utilizzato come voltmetro. Viene staccato e collegato ad una resistenza fissa di 7,2 chiloohm.

I vari passaggi sono predisposti. Un commutatore a cinque vie (S_1, S_2, S_3, S_4 e S_5) ed a sei posizioni, consente di ottenere la misura della tensione di lavoro (1), l'indicazione di riferimento (2), l'indicazione di calibrazione (3), le misure di tensione sulle 8 portate (4), l'inversione di polarità (5) e l'esclusione della batteria (6).

L'ATTENUATORE

Consiste delle 7 resistenze fisse da R_{20} a R_{26}.

In posizione 10 millivolt, tutte le 7 resistenze sono in cortocircuito. La tensione da misurare è applicata direttamente alla base di TS_1, via S_1 in posizione 4, ed a quella di TS_2, via S_2. La resistenza d'ingresso è quella di R_3, ossia è di 100 chiloohm.

In posizione 32 millivolt, la resistenza R_{26} di 22 chiloohm si aggiunge ad R_3, e forma con essa un partitore di tensione. La resistenza d'ingresso sale a 122 chiloohm.

È quanto avviene per tutte le altre portate. In posizione 1 volt, la resistenza d'ingresso è di circa 1 megaohm (è di 1,09 megaohm essendo la somma di 100+22+68+220+680 chiloohm).

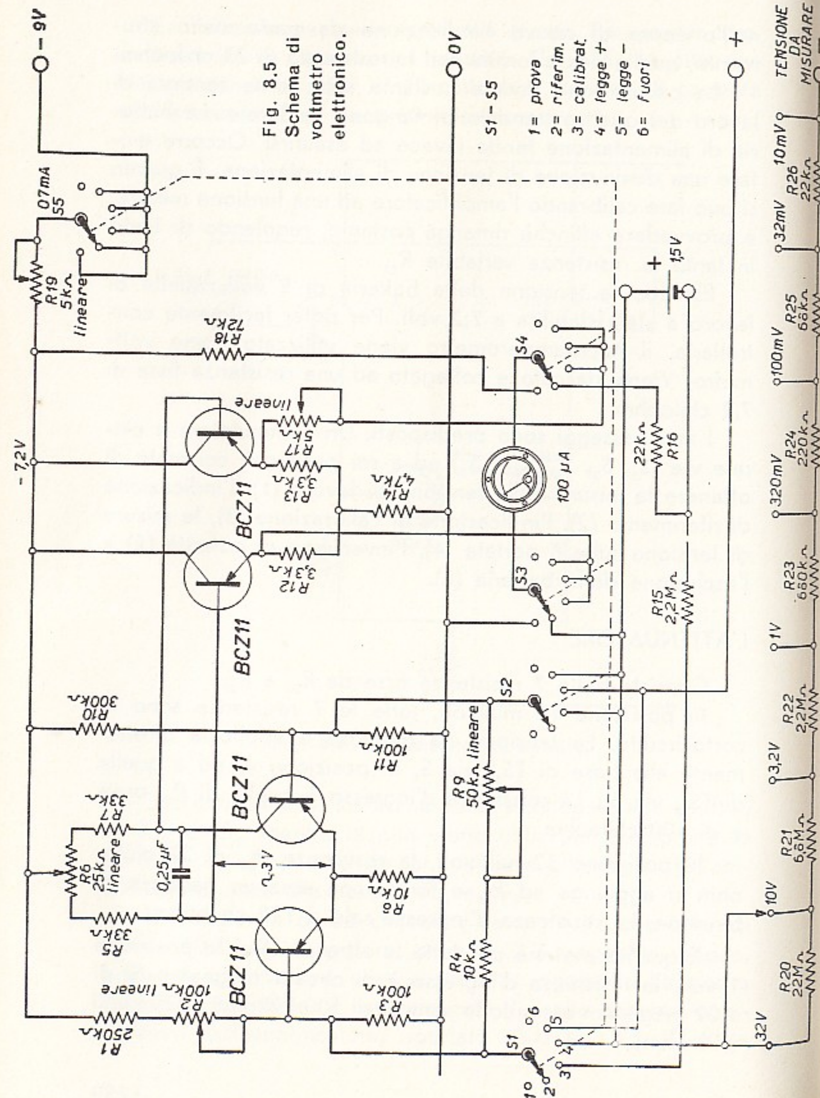


Fig. 8.5 Schema di voltmetro elettronico.

In posizione 3,2 volt è di 3,29 megaohm, quindi a 10 volt è di 10,09 megaohm e a 32 volt è di 32,09 megaohm.

I TRANSISTOR

Nell'esempio fatto, i quattro transistor sono dello stesso tipo. Sono quattro BCZ11, ossia a silicio, tipo PNP, di classe professionale. La loro corrente di dispersione è di 0,1 microampere. Possono funzionare con partitore d'entrata di valore elevato. Sono sostituibili con altri, purchè al silicio e di tipo PNP, in grado di fornire prestazioni analoghe.

CAPITOLO NONO

IL MULTIMETRO ELETTRONICO

Il *multimetro elettronico* è un tester provvisto di amplificatore. Viene denominato anche *analizzatore elettronico*.

Non lo si può denominare voltmetro elettronico, poichè oltre alle misure di tensione, consente anche quelle di corrente e di resistenza. In realtà, però, è un voltmetro elettronico adattato per rendere possibili anche tutte le altre misure utili.

Caratteristica essenziale del multimetro elettronico è di riferire le misure di corrente e di resistenza a quelle di tensione, le sole possibili.

Mentre il multimetro senza amplificazione, il tester comune, consiste di un voltmetro, di un milliamperometro e di un ohmmetro, il multimetro elettronico è soltanto un voltmetro. Misura variazioni di tensione presenti all'entrata del suo amplificatore.

Tali variazioni di tensione corrispondono alla sua portata minore. Sono generalmente quelle comprese tra 0 e 100 millivolt.

L'amplificatore è calibrato per funzionare con quelle sole variazioni di tensione alla sua entrata.

Tutte le altre tensioni da misurare vengono attenuate quanto occorre, 10 o 100 o 1000 o 10 000 volte, prima di venir applicate all'entrata dell'amplificatore. Ne consegue che l'*attenuatore* è una sezione importante del multimetro elettronico.

Mentre il voltmetro elettronico consente misure di tensione su portate inferiori a quella di 100 millivolt, il multi-

metro non può effettuarle, in quanto le varie tensioni misurabili possono venir soltanto attenuate, ridotte alla portata di base, e non già amplificate prima di venir presentate all'amplificatore.

In pratica non è opportuno utilizzare un amplificatore adatto per tensioni molto deboli, ad es. quelle tra 0 e 10 millivolt, poichè riuscirebbe più difficile ottenere la linearità e la costanza del suo guadagno.

È possibile superare questa limitazione con circuiti particolari, quelli su cui si basa il *multimetro digitale*. È per questa ragione che con la tecnica digitale, i campi di misura possono venir molto estesi.

IL PRINCIPIO BASILARE

La fig. 9.1 riporta lo schema a blocchi del multimetro elettronico. Consiste di due parti essenziali: *a*) l'*attenuatore* e *b*) l'*amplificatore*.

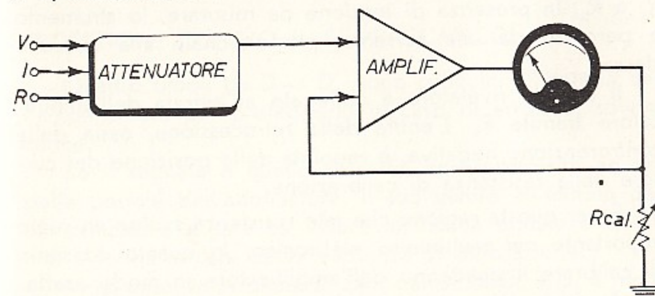


Fig. 9.1 - Principio del multimetro elettronico.

All'entrata dell'attenuatore vengono presentate le tensioni (V), le correnti (*I*) e le resistenze (*R*) da misurare. L'attenuatore è perciò suddiviso in tre parti.

L'amplificatore consiste generalmente di tre stadi. I due primi stadi sono a differenza, per cui funzionano con una

coppia di transistor. Quelli dello stadio d'entrata sono ad effetto di campo (FET). Il terzo stadio comprende una coppia di transistor collegati in simmetria. È necessaria una notevole amplificazione poichè la *calibrazione* è ottenuta con forte *controreazione negativa*, dall'uscita all'entrata. È la controreazione a stabilizzare il funzionamento dell'amplificatore, ed a determinare esattamente il suo guadagno.

Lo strumento di misura è generalmente un microamperometro da 100 µA. È inserito nel *circuito rivelatore*, il quale a sua volta appartiene a quello di controreazione negativa, ossia di calibrazione.

L'entità della controreazione è regolabile mediante una apposita resistenza variabile. È la Rcal nello schema a blocchi.

IL CIRCUITO RIVELATORE

In fig. 9.2 all'uscita dell'amplificatore, il circuito rivelatore è costituito dai diodi D_1 e D_2, nonchè dalle resistenze R_1 e R_2. In presenza di tensione da misurare, lo strumento è percorso da una corrente, proporzionale alla tensione stessa.

Il circuito rivelatore è collegato all'entrata dell'amplificatore tramite R_3. L'entità della retrocessione, ossia della controreazione negativa, è regolata dalla posizione del cursore della resistenza di calibrazione.

È per questa ragione che tale resistenza svolge un ruolo importante nel multimetro elettronico, in quanto consente di calibrare il guadagno dell'amplificatore in modo esattamente adeguato entro tutta la gamma delle variazioni di tensione all'entrata, ossia da 0 a 100 millivolt.

Una quarta resistenza, R_4, è collegata tra l'uscita di R_3 e la massa, in modo da diminuire la controreazione quando la tensione da misurare è alternata (pulsante, in assenza di livellazione). L'attenuazione che ne risulta è di 1,11 così che lo strumento può venir graduato in valori efficaci anzichè di cresta.

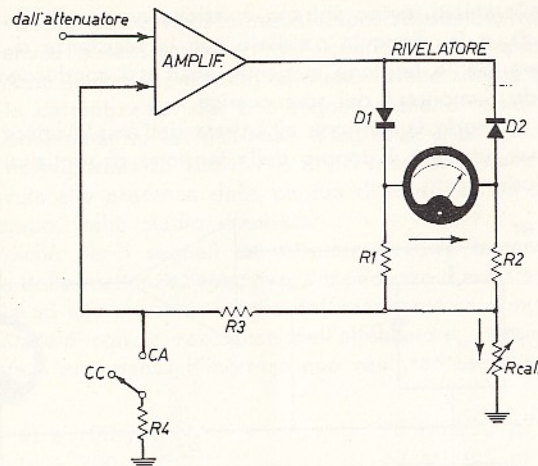


Fig. 9.2 - Circuito rivelatore del multimetro elettronico.

PROTEZIONE CONTRO IL SOVRACCARICO

Quattro diodi, da D_1 a D_4, sono collocati all'entrata dell'amplificatore per proteggerlo in caso di errori di sovraccarico.

Se il segnale è quello corretto, corrispondente ad una delle portate dell'attenuatore, il suo valore all'entrata dell'amplificatore è tale da essere all'incirca eguale a quello che si forma ai capi della resistenza di calibrazione.

In tal caso, la tensione ai capi dei diodi D_1 e D_2 è molto bassa, e può venir trascurata. La presenza dei due diodi non diminuisce l'impedenza d'ingresso dell'amplificatore.

Non appena si manifesta un sovraccarico, la tensione sulla resistenza di calibrazione aumenta in proporzione, ed aumenta pure quella ai capi dei due diodi.

Ne risulta che la resistenza R_1 e i due diodi agiscono come un partitore di tensione, per cui il sovraccarico viene attenuato.

Nello stesso tempo entrano in azione anche gli altri due diodi, D_3 e D_4. Sono in parallelo con la resistenza di calibrazione. Se la tensione aumenta, anch'essi conducono, riducendo l'ampiezza del sovraccarico.

In tal modo la tensione all'entrata dell'amplificatore non può mai superare il doppio della tensione di soglia di uno dei diodi.

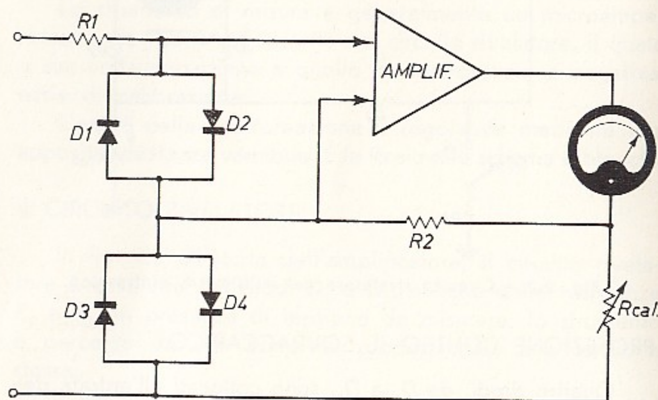


Fig. 9.3 - Protezione contro il sovraccarico.

Altri due diodi si trovano generalmente all'entrata dell'attenuatore di corrente. Anch'essi intervengono immediatamente quando ciò risulta necessario. A tale entrata c'è, in più, un fusibile da 6 ampere.

VANTAGGI DEL MULTIMETRO ELETTRONICO

Il vantaggio principale del multimetro elettronico è quello di consentire misure molto più precise di quelle ottenibili con il multimetro senza amplificazione, ossia con il tester.

Tale vantaggio deriva dalla sua elevata resistenza d'ingresso. In genere essa è di 10 o 20 o anche 30 megaohm. Per di più è la stessa in tutte le portate.

È detta *resistenza d'ingresso* (input resistance) quando si riferisce a tensioni o correnti continue, ed *impedenza d'ingresso* (input impedance) se viene invece riferita a tensioni o correnti alternate, o a segnali audio o radio.

Comunemente, la resistenza d'ingresso è di 20 megaohm nella portata di 100 mV e di 10 megaohm nelle altre. È dovuta alla presenza della coppia di transistor ad effetto di campo, nello stadio d'entrata.

Poichè per i segnali da misurare occorre tener conto anche della reattanza capacitiva, l'impedenza d'entrata viene riferita ad una capacità, quella del condensatore d'ingresso, in parallelo con la resistenza dell'attenuatore, di ciascuna portata. L'impedenza d'ingresso può venir, ad esempio, così riferita:

a) a 100 mV . . . . . . 20 MΩ/30 pF
b) a 300 mV . . . . . . 12 MΩ/45 pF
c) a tutte le altre portate . . 10 MΩ/55 pF

Un altro importante vantaggio del multimetro elettronico è quello di poter disporre di più ampi campi di misura, in confronto del tester.

Le portate di tensione continua possono essere nove, da 0,1 V a 1000 V; altrettante possono essere quelle di tensione alternata.

Le portate di corrente continua hanno generalmente inizio a 1 microampere e fine a 1 ampere. Quelle di corrente alternata sono le stesse, per cui complessivamente possono essere 9+9.

Le portate di resistenza sono quasi sempre sei, in tutti i multimetri elettronici, da quella inferiore con centro scala di 1 ohm, alla superiore con centro scala di 1 megaohm.

Ne risultano 42 portate.

Va inoltre tenuto conto che il multimetro elettronico è provvisto di circuito rivelatore, per cui consente misure di segnali entro un estesissimo campo di frequenze, da 25 hertz a 25 chilohertz, oppure da 20 hertz a 100 chilohertz, a se-

conda della sua classe. Segnali a frequenze più alte, sino a 100 megahertz, sono misurabili con l'apposita sonda RF (*probe RF*).

Esempio di multimetro elettronico.

La fig. 9.4 mostra quale sia l'aspetto esterno di uno dei millivoltmetri elettronici più usati nei laboratori radiotecnici.

Fig. 9.4 - Esempio di multimetro elettronico.

È provvisto di 9 portate di tensione continua o alternata, di 12 portate di corrente continua o alternata, le seguenti:

a) 4 portate in microampere: 1 3 10 30 μA

b) 7 portate in milliampere: 0,1 0,3 1 3 10 30 100 mA

c) 1 portata sino ad 1 ampere

nonchè di 6 portate di resistenza, con i seguenti valori di centro scala:

10 Ω 100 Ω 1 kΩ 10 kΩ 100 kΩ 1 MΩ.

Il passaggio da una all'altra delle tre funzioni (continua, alternata, resistenza) viene effettuato con tre tasti a richiamo (a sinistra, in basso).

Per la calibrazione dell'amplificatore e il controllo della batteria sono predisposti altri tre tasti, a pulsante. Sono visibili a destra, in basso (batteria, calibrazione, riferimento).

SCHEMA DEL MULTIMETRO

È quello di fig. 9.5. Gli stadi di amplificazione sono tre. Quello di entrata comprende due FET selezionati. È a differenza, come sempre avviene nei multimetri elettronici. È seguìto da un secondo stadio, anch'esso a differenza.

Fig. 9.5 - Schema del multimetro elettronico di fig. 9.4.

Lo zero elettrico è ottenuto con la regolazione della resistenza variabile R_1, collegata ai due *source* dei FET. In assenza di tensione da misurare, la tensione d'uscita dell'amplificatore è esattamente 0, per cui non vi è alcuna corrente attraverso la bobina mobile dello strumento.

Il secondo stadio ha il compito di pilotare quello finale, a simmetria quasi complementare e in classe B.

All'uscita del terzo stadio vi è anzitutto uno strumento indicatore di polarità, in serie con una resistenza. Un indice segna, su un piccolo quadrante, se la polarità è negativa, alternata o positiva.

Segue lo stadio rivelatore e di controreazione negativa. Lo strumento si trova tra quattro diodi rivelatori. Il suo circuito fa parte di quello di controreazione. Il segnale d'uscita è applicato al *gate* di uno dei due FET d'entrata.

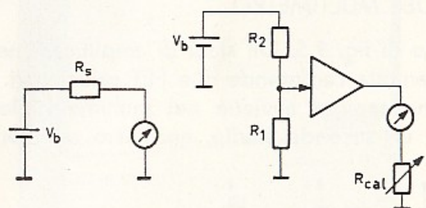


Fig. 9.6 - Riferimento e calibrazione del multimetro elettronico.

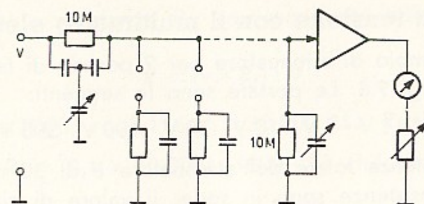
In posizione RIF., lo strumento risulta staccato dal circuito rivelatore. È utilizzato per una misura di corrente, quella fornita da una pila di 1,5 volt in serie con una resistenza fissa. Ha lo scopo di poter disporre di un riferimento per poter calibrare l'amplificatore.

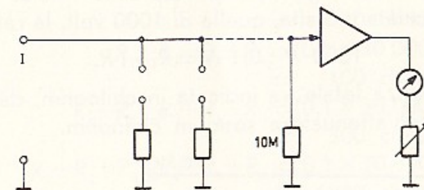
In posizione CAL., lo strumento è di nuovo inserito all'uscita dell'amplificatore (fig. 9.6), mentre la pila è collegata ai capi di un partitore di tensione, posto all'entrata dell'amplificatore. La resistenza di calibrazione va regolata in modo da ottenere esattamente la stessa indicazione da parte dello strumento.

La protezione contro i sovraccarichi è assicurata da due diodi posti in opposizione, all'entrata dell'amplificatore.

La fig. 9.7 riporta le tre sezioni semplificate dell'attenuatore, in alto per le tensioni, al centro per le correnti, ed in basso per le resistenze.

Il multimetro descritto è il mod. PM2403 della Philips.





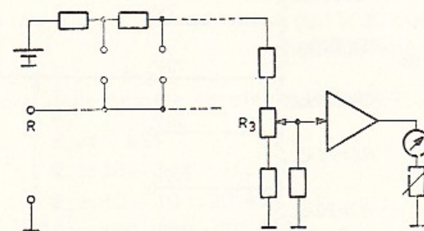


Fig. 9.7 - Schema semplificato dell'attenuatore.

Misure di tensione con il multimetro elettronico.

Un esempio di attenuatore per 9 portate di tensione, è quello di fig. 9.8. Le portate sono le seguenti:

0,1 V 0,3 V 1 V 3 V 10 V 30 V 100 V 300 V 1000 V.

La resistenza totale dell'attenuatore è di 30 megaohm.

Le 9 resistenze sono in serie; il valore di ciascuna di esse risulta da semplici formule, conseguenti dal fatto che la tensione ai capi di ciascuna resistenza è, rispetto alla tensione da misurare, nello stesso rapporto in cui le resistenze singole si trovano rispetto alla resistenza totale.

Per la portata più alta, quella di 1000 volt, la relazione è:

$$1000 \text{ V} : 0{,}1 \text{ V} = R_{tot} : R_1.$$

La resistenza totale va indicata in chiloohm, dato che le resistenze dell'attenuatore sono in chiloohm.

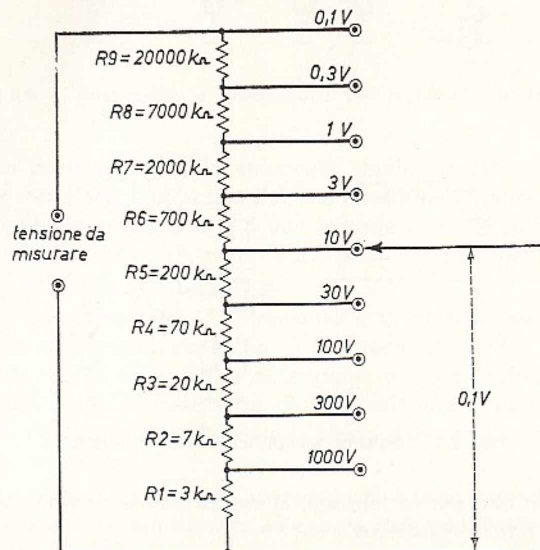


Fig. 9.8 - Schema semplificato dell'attenuatore di tensione.

Perciò la resistenza R_1, corrispondente alla portata di 1000 volt, è:

$$R_1 = (v \times R_t) : V$$

in cui $V = 1000$, $v = 0{,}1$ e $R_t = 30\,000$ kΩ. Risulta:

$$R_1 = (0{,}1 \times 30\,000) : 1000 = 3 \text{ chiloohm}.$$

I valori delle altre resistenze sono:

$$R_1 + R_2 = (0{,}1 \times 30\,000) : 300 = 10 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 = (0{,}1 \times 30\,000) : 100 = 30 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = (0{,}1 \times 30\,000) : 30 = 100 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = (0{,}1 \times 30\,000) : 10 = 300 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 = (0{,}1 \times 30\,000) : 3 = 1000 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 = (0{,}1 \times 30\,000) : 1 = 3000 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 = (0{,}1 \times 30\,000) : 0{,}3 = 10\,000 \text{ chiloohm}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9 = (0{,}1 \times 30\,000) : 0{,}1 = 30\,000 \text{ chiloohm}.$$

Il valore delle singole resistenze è perciò:

$$R_1 = 3 \text{ k}\Omega$$
$$R_2 = 10 - 3 = 7 \text{ k}\Omega$$
$$R_3 = 30 - 10 = 20 \text{ k}\Omega$$
$$R_4 = 100 - 30 = 70 \text{ k}\Omega$$
$$R_5 = 300 - 100 = 200 \text{ k}\Omega$$
$$R_6 = 1000 - 300 = 700 \text{ k}\Omega$$
$$R_7 = 3000 - 1000 = 2000 \text{ k}\Omega$$
$$R_8 = 10\,000 - 3000 = 7000 \text{ k}\Omega$$
$$R_9 = 30\,000 - 10\,000 = 20\,000 \text{ k}\Omega.$$

SCALE GRADUATE

Il VE ha due scale graduate sul quadrante. La soprastante è graduata da 0 a 10 o da 0 a 100; la sottostante da 0 a 30. In tal modo riesce facile la lettura in corrispondenza di qualsiasi portata. Se, ad es., è inserita la portata 1 volt, e la scala è graduata sino a 10, l'indicazione fornita va divisa per 10; se la portata è di 300 volt, la lettura va fatta sulla scala sino a 30 volt, moltiplicando per 10.

Misure di corrente con il multimetro elettronico.

Il principio è semplice: l'intensità di corrente che fluisce in una resistenza di valore noto è esattamente proporzionale alla tensione che l'ha determinata.

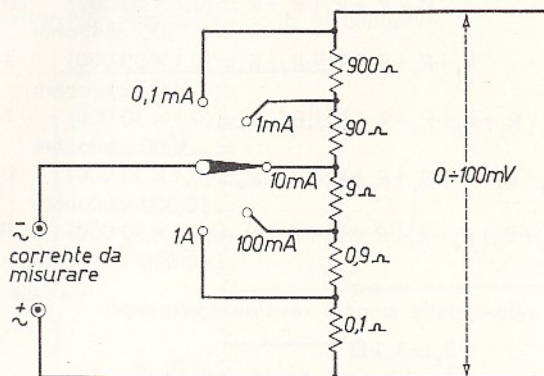


Fig. 9.9 – Principio dell'attenuatore di corrente.

La fig. 9.9 illustra un esempio pratico, con 5 portate di corrente, le seguenti:

0,1 mA   1 mA   10 mA   100 mA   1 A.

Tutte le misure, qualunque sia la portata inserita, vengono riferite alla tensione di misura di 100 millivolt. Perciò

a tutte le cinque portate corrisponde sempre tale tensione. Se, ad es., la corrente da misurare è di 0,1 mA oppure è di 1 ampere, la tensione che essa determina è sempre di 100 millivolt. Viene sostituita la resistenza.

È evidente che la misura di corrente viene effettuata in base alla semplice relazione:

Intensità di corrente in ampere =
= Tensione in volt : Resistenza in ohm.

Il valore delle cinque resistenze in serie è quello indicato in figura. La resistenza totale è di 1000 ohm. A tale resistenza corrisponde la portata di 0,1 milliampere.

Se la corrente da misurare è di 0,1 milliampere, l'indice dello strumento si sposta a fine scala. Infatti:

Tensione in volt = Corrente in ampere × Resistenza in ohm

in cui la corrente è 0,0001 A e la resistenza è di 1000 Ω. Ne risulta:

Tensione in volt = 0,0001 A × 1000 Ω = 0,1 V.

Poichè, come detto, la tensione massima misurabile dal VE è di 0,1 V (= 100 mV), l'indice è a fine scala.

È sufficiente una sola scala graduata, dato che si può leggere in mA le indicazioni in mV.

Altrettanto avviene per le altre quattro portate, a ciascuna delle quali corrisponde un valore resistivo adeguato.

Riassunto per le cinque portate di corrente:

I) $R = 900 + 90 + 9 + 0{,}9 + 0{,}1 = 1000$ ohm
$I = 0{,}1$ mA (0,0001 A)
0,0001 A × 1000 Ω = 0,1 V (100 mV)

II) $R = 90 + 9 + 0{,}9 + 0{,}1 = 100$ ohm
$I = 1$ mA (0,001 A)
0,001 A × 100 Ω = 0,1 V (100 mV)

III) $R = 9 + 0,9 + 0,1 = 10$ ohm

$I = 10$ mA (0,01 A)

0,01 A × 10 Ω = 0,1 V (100 mV)

IV) $R = 0,9 + 0,1 = 1$ ohm

$I = 100$ mA (0,1 A)

0,1 A × 1 Ω = 0,1 V (100 mV)

V) $R = 0,1$ ohm

$I = 1$ A

1 A × 0,1 Ω = 0,1 V (100 mV).

Misure di resistenza con il multimetro elettronico.

La tensione ai capi di una delle due resistenze di un partitore, è sempre esattamente proporzionale al valore della resistenza stessa, per cui, nell'esempio di fig. 9.10, il multimetro elettronico è sulla portata di 0,1 volt, e viene utilizzato per misurare la tensione ai capi della resistenza R_2. Tale resistenza è in serie con un'altra, R_1 di 1000 ohm. Le due resistenze formano un partitore di tensione. Ad esse è applicata la tensione di 0,1 volt.

Le tensioni v_1 e v_2 risultano dalle seguenti relazioni:

$$v_1 = (V \times R_1) : R_t$$
$$v_2 = (V \times R_2) : R_t.$$

La resistenza totale R_t è data dalla somma delle resistenze R_1 e R_2, come è evidente. Ma se R_2 è di valore sconosciuto, non la si può ottenere in tal modo. È necessario valersi delle seguenti relazioni:

$$R_t = (V \times R_1) : v_1$$
$$R_t = (V \times R_2) : v_2.$$

La tensione V è fissa (0,1 volt), la resistenza R_1 è anche fissa (1000 ohm); delle due tensioni minori (v_1 e v_2) è noto solo il valore di v_2 indicato dal voltmetro elettronico. Il valore di v_1 risulta però con tutta facilità, dato che $v_1 = V - v_2$.

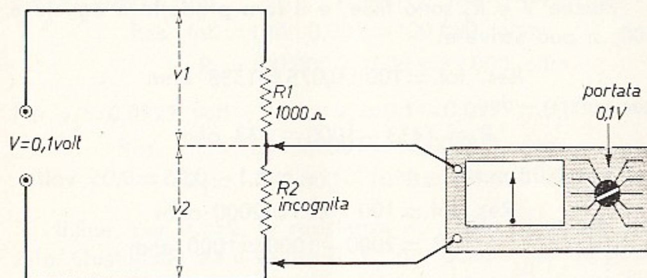


Fig. 9.10 - Il multimetro elettronico misura la tensione ai capi della resistenza sconosciuta.

Dalle formule precedenti risultano queste altre due:

$$R_1 \text{ in ohm} = (v_1 \times R_t) : V$$
$$R_2 \text{ in ohm} = (v_2 \times R_t) : V.$$

Negli ohmmetri di questo tipo, incorporati nei VE l'indicazione di v_2 è fornita dallo strumento, e la resistenza R_2 è l'incognita.

ALCUNI VALORI DI R_2

Se, come detto, la tensione V è di 0,1 volt e la resistenza R_1 è di 1000 ohm, il valore della resistenza da misurare, R_2, risulta, in base alle indicazioni dello strumento, come segue:

Per $v_2 = 0,01$ *volt* $\qquad v_1 = 0,1 - 0,01 = 0,09$ volt

Res. tot. $= (V \times R_1) : v_1$ ossia

$= (0,1 \times 1000) : 0,09 = 1111$ ohm

per cui, essendo $R_2 = R_{tot} - R_1$ risulta

Resistenza incognita $(R_2) = 1111 - 1000 = 111$ ohm.

Per $v_2 = 0{,}025$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}025 = 0{,}075$ ohm

Poichè V e R_1 sono fisse, e il loro prodotto è eguale a 100, si può scrivere:

Res. tot. $= 100 : 0{,}075 = 1333$ ohm

per cui:

$R_2 = 1333 - 1000 = 333$ ohm

Per $v_2 = 0{,}05$ volt $v_1 = 0{,}1 - 0{,}05 = 0{,}05$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}05 = 2000$ ohm

$R_2 = 2000 - 1000 = 1000$ ohm

Per $v_2 = 0{,}075$ volt $v_1 = 0{,}1 - 0{,}075 = 0{,}025$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}025 = 4000$ ohm

$R_2 = 4000 - 1000 = 3000$ ohm

Per $v_2 = 0{,}085$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}085 = 0{,}015$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}015 = 6666$ ohm

$R_2 = 6666 - 1000 = 5666$ ohm

Per $v_2 = 0{,}09$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}09 = 0{,}01$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}01 = 10\,000$ ohm

$R_2 = 10\,000 - 1000 = 9000$ ohm.

ADDENSAMENTO FINE SCALA

Va notato quanto avviene verso la fine della scala, quando si tratta di misurare resistenze di valore superiore ai 10 000 ohm. Le indicazioni dello strumento si addensano in modo da rendere impossibile qualsiasi lettura. Infatti:

Per $v_2 = 0{,}095$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}095 = 0{,}005$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}005 = 20\,000$ ohm

$R_2 = 20\,000 - 1000 = 19\,000$ ohm

Per $v_2 = 0{,}98$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}098 = 0{,}002$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}002 = 50\,000$ ohm

$R_2 = 50\,000 - 1000 = 49\,000$ ohm

Per $v_2 = 0{,}099$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}099 = 0{,}001$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}001 = 100\,000$ ohm

$R_2 = 100\,000 - 1000 = 99\,000$ ohm

Per $v_2 = 0{,}0999$ *volt* $v_1 = 0{,}1 - 0{,}0999 = 0{,}0001$ volt

Res. tot. $= 100 : 0{,}0001 = 1\,000\,000$ ohm

$R_2 = 1\,000\,000 - 1000 = 999\,000$ ohm.

Infine, per $v_2 = 0$, la resistenza R_2 risulta di valore infinito. Qualunque sia il valore di R_2, per quanto grande possa essere, non determina mai lo spostamento dell'indice a fine scala. In tale posizione corrisponde l'assenza di R_2, quindi il circuito aperto.

VALORI DI v_2

Non sono necessariamente piccoli, come può sembrare, dato che vengono misurati con un voltmetro elettronico. Al valore più piccolo indicato, quello di 0,01 volt, per v_2, corrispondono 10 millivolt, ben leggibili sulla scala graduata da 0 a 100 millivolt.

SCALA GRADUATA IN OHM

I voltmetri elettronici hanno sul quadrante una sola scala graduata per letture in ohm, benchè le portate ohmmetriche siano generalmente sei. A ciascuna di esse corrisponde un dato valore di centro scala, quello di $v_2 = 0{,}05$ volt. È ottenuto quando $R_1 = R_2$. Nell'esempio fatto il valore di centro scala è 1000 ohm, essendo questo il valore di R_1.

Come si può notare in fig. 9.12, la scala graduata in ohm (la sottostante) è più corta di quella per le misure di tensione. Questo avviene per l'addensamento dei valori



Fig. 9.11 - Esempio di impiego del multimetro elettronico.

resistivi a fine scala, tale da rendere inutilizzabile una parte di essa, la finale.

Nell'esempio, il valore di centro scala è di 10. Il tratto utile della scala termina a 100. Oltre la scala è segnato il valore di 500 ma solo a scopo estetico.

Le indicazioni vanno moltiplicate per il numero relativo alla portata. Se, ad es., la portata è quella di 1000 ohm, tutte le letture vanno moltiplicate per 100.

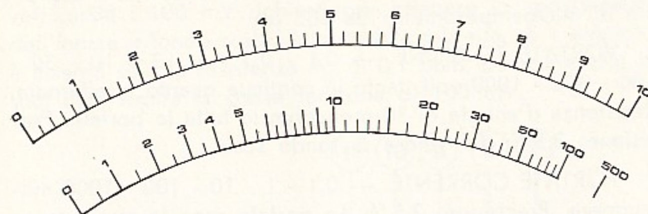


Fig. 9.12 - La scala in ohm leggermente più corta.

PORTATE DI RESISTENZA

In genere le portate sono sei, in corrispondenza di altrettanti valori di centro scala e di moltiplicatori. Sono le seguenti:

I	10 ohm	da	1	a	100 ohm
II	100 ohm	da	10	a	1000 ohm
III	1000 ohm	da	100	a	10 000 ohm
IV	10 000 ohm	da	1000	a	100 000 ohm
V	100 000 ohm	da	10	a	1000 chiloohm
VI	1 000 000 ohm	da	0,1	a	10 megaohm.

I moltiplicatori sono rispettivamente:

$\times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1000$, $\times 10$ kΩ, $\times 1$ MΩ.

In tal modo sono misurabili, con errore accettabile, tutti i valori di resistenza compresi tra 1 ohm e 10 megaohm.

La portata con centro scala di 1 ohm è possibile, ma comporta un secondo partitore e un comando in più.

Multimetro elettronico Grundig mod. UV30.

La fig. 9.13 illustra l'aspetto esterno dello strumento, mentre la tavola B ne riporta lo schema elettrico. È provvisto di microamperometro da 100 μA.

PORTATE TENSIONE. — 0,1 - 0,3 - 1 - 3 - 10 - 30 - 100 - 300 - 1000 volt, tanto in continua quanto in alternata. Resistenza d'entrata di 30 megaohm in tutte le portate. Precisione: 2,5 % del valore di fondo scala.

PORTATE CORRENTE. — 0,1 - 1 - 10 - 100 - 1000 milliampere. Precisione: 2,5 %. Le portate sono le stesse tanto in continua quanto in alternata.

PORTATE RESISTENZA. — ×10, ×100 ohm, ×1, ×10, ×100 chiloohm e ×1 megaohm, a centro scala. Tensione per la misura: 1,5 volt per tutte le portate. Corrente di misura massima: 100 microampere.

Consente anche la prova dei diodi e dei transistor, utilizzando la portata corrente 0,1 mA. È provvisto di scala per misure in decibel.

L'indice del microamperometro va a fondo scala con la tensione di 100 millivolt. Tutte le misure sono riferite a tale tensione.

Nello schema è indicato un partitore a nove resistenze, da R_1 a R_9, per le *misure di tensione*. Sono inseribili con il commutatore a due vie e venti posizioni S_1. In figura, il commutatore è in posizione 0,1 volt. La tensione da misurare viene applicata alle boccole *V* e +, indicate con 8 e 9 in fig. 9.13, e quindi all'entrata dell'amplificatore. Le nove resistenze sono collegate in serie. Il terminale + è a massa.

Un secondo partitore di tensione a cinque resistenze, da R_{10} a R_{15}, è utilizzato per le cinque *portate di corrente*. La corrente viene applicata alle boccole *A* e +, indicate con 9 e 10. Il valore delle cinque resistenze è: $R_{10}=9{,}1$ ohm, $R_{11}=0{,}9$ ohm, $R_{12}=9$ ohm, $R_{13}=90$ ohm, $R_{14}=900$ ohm.

Alla portata minore, di 0,1 mA, risultano inserite tutte le cinque resistenze, il cui valore complessivo è di 1000 ohm. La tensione che la corrente di 0,1 mA determina ai capi della resistenza di 1000 ohm è 0,0001 A×1000 ohm=0,1 volt, ossia i 100 mV richiesti per ottenere lo spostamento dell'indice a fondo scala. Alla portata più alta, di 1 ampere, è inserita solo la resistenza R_{10} di 0,1 ohm, per cui anche ai suoi capi risulta la stessa tensione di 100 mV.

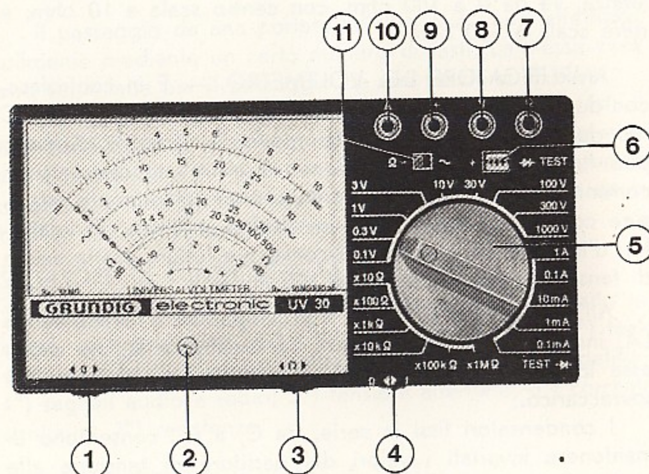


Fig. 9.13 — Il multimetro elettronico di piccole dimensioni mod. UV30 della Grundig.

La portata minore, di 0,1 mA, è utilizzata anche per la prova dei semiconduttori, come detto, con la resistenza R_{39} in serie, e la tensione di 1,5 volt fornita dalla pila.

Un terzo partitore di tensione costituito da cinque resistenze, da R_{15} a R_{19}, è utilizzato per le *portate di resistenza*. Il principio è quello dell'ohmmetro a comparazione, per cui lo zero si trova all'estremità sinistra anzichè a quella destra della scala. La resistenza di valore sconosciuto è applicata

alle boccole Ω e + (7 e 9) per cui si trova in serie con le altre resistenze e viene a far parte del partitore.

L'azzeramento è ottenuto con la resistenza variabile R_{21}. Esso consiste nel regolare la tensione di misura a 100 mV. Il valore delle cinque resistenze è: $R_{15}=9$ megaohm, $R_{16}=$ $=900$ chiloohm, $R_{17}=90$ chiloohm, $R_{18}=9$ chiloohm, $R_{19}=$ $=900$ ohm.

Vi è una sola scala sul quadrante per i valori di resistenza, va da 0 a 100 ohm, con centro scala a 10 ohm, e oltre scala a 500 ohm.

AMPLIFICATORE DEL VOLTMETRO. — È in controfase, con due FET BF244A all'entrata, e quattro transistor BC148C nei due stadi seguenti. In tal modo il microamperometro può funzionare praticamente senza alcun assorbimento di corrente. I due FET all'entrata consentono di ottenere le misure con la resistenza di 30 megaohm, agendo da adattatori d'impedenza, e quindi di consentire letture esatte anche di tensioni molto basse, sotto 100 millivolt.

All'ingresso del FET T_1 vi è la lampadina a luminescenza LA_1 indicatrice di sovraccarico. La resistenza R_{24} ha anche essa lo scopo di proteggere il transistor contro errori di sovraccarico.

I condensatori fissi in serie, da C_1 a C_9, consentono di mantenere invariati i valori del partitore di tensione alle frequenze elevate.

La tensione da misurare viene trasferita dal *source* del FET alla base del transistor T_3. Data la disposizione in controfase, la tensione da misurare, amplificata, risulta in opposizione di fase ai capi delle resistenze d'uscita R_{27} e R_{33}.

I due transistor finali T_5 e T_6 agiscono, a loro volta, come adattatori di impedenza e comandano il microamperometro. La messa a zero elettrica è ottenibile con la resistenza variabile R_{30}.

L'inversore S_3 determina il passaggio dalla posizione « continua » alla posizione « alternata ». In quest'ultima posizione, la tensione alternata all'uscita dell'amplificatore viene raddrizzata con i quattro diodi, da D_1 a D_4. L'aumento di temperatura conseguente, viene compensato con il diodo D_5 e la resistenza R_{36}.

L'alimentazione dell'amplificatore è fornita da una batteria da 9 volt.

Il multimetro elettronico a tasti.

Il passaggio da una portata all'altra può venir effettuato utilmente mediante un certo numero di tasti. La stessa cosa può venir fatta per il passaggio da una funzione all'altra.

La fig. 9.14 illustra un esempio di *multimetro a tasti*. I tasti sono disposti in due gruppi verticali. Il gruppo a sinistra comprende sette tasti, quello a destra nove. Il gruppo a sette tasti sostituisce il *selettore di funzioni*, quello a nove tasti sostituisce il *commutatore di portate*.

SELETTORE DI FUNZIONI A TASTI

Le sette funzioni, riferite ad altrettanti tasti (dall'alto in basso, in figura) sono: 1ª) controllo batteria 12 V; 2ª) tensioni a polarità positiva; 3ª) tensioni a polarità negativa; 4ª) segnali audio e radio; 5ª) tensioni alternate; 6ª) correnti continue; 7ª) resistenze.

COMMUTATORE DI PORTATE A TASTI

Le nove posizioni sono:

I) da 0 a 30 millivolt per sole tensioni continue;

II)	sino a	0,3 V o	0,3 mA;		
III)	sino a	1 V o	1	mA (e per	1 megaohm);
IV)	sino a	3 V o	3	mA (e per	100 chiloohm);
V)	sino a	10 V o	10	mA (e per	10 chiloohm);
VI)	sino a	30 V o	30	mA (e per	1000 ohm);
VII)	sino a	100 V o	100	mA (e per	100 ohm);
VIII)	sino a	300 V o	300	mA (e per	10 ohm);
IX)	sino a	1000 V o	1000	mA (e per	1 ohm).

MISURE DI SEGNALI

Nella posizione tensioni alternate, il multimetro consente misure di segnali, su due portate:

a) *segnali audio* e *radio*, dalla frequenza di 30 hertz a quella di 100 megahertz, nel campo di misura da 0 a 240 volt efficaci, mediante il cavo con testina rivelatrice HK4;

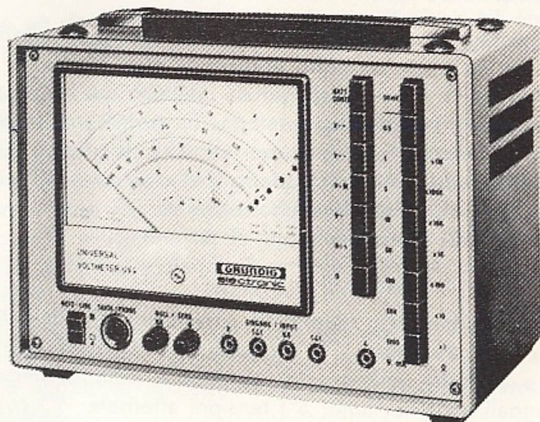


Fig. 9.14 – Multimetro elettronico a tastiera.

b) *segnali ad alta* e *ad altissima frequenza*, da 0,2 megahertz a 300 megahertz, nel campo di misura da 0,05 a 15 volt efficaci, in collegamento con l'apposita testina rivelatrice HK3.

La messa a zero dell'indice dello strumento può venir eseguita con due manopolette (*null zero*) poste sotto il quadrante, una per tensioni e correnti e l'altra per resistenze.

Multimetro digitale B+K PRECISION.

I progressi compiuti dalla tecnica microelettronica dei circuiti integrati hanno reso possibile un largo sviluppo dei sistemi digitali applicati agli strumenti di misura. In altre parole, è possibile oggi costruire un multimetro elettronico che utilizzi per la visualizzazione del valore misurato, delle cifre luminose al posto del classico strumento a indice. Evidentemente i circuiti diventano alquanto più complicati, ma l'impiego generalizzato dei circuiti integrati ne agevola enormemente la realizzazione pratica.

Un esempio di multimetro elettronico digitale è illustrato



Fig. 9.15 – Multimetro digitale B+K PRECISION.

nella foto di fig. 9.15. Si tratta del modello 280 della B+K PRECISION, a tre cifre a LED, cioè a cifre composte da sette segmenti consistenti in altrettanti diodi luminescenti. Sono inoltre visualizzati il segno −, il punto decimale e l'indicazione di fuori scala. I comandi, tutti sul frontale, si riducono a tre: un selettore di funzioni a cinque posizioni, un commutatore di portata a sei posizioni e un potenziometro per l'azzeramento.

Le caratteristiche salienti di questo strumento sono l'alta impedenza d'ingresso, di 10 MΩ; l'alto grado di risoluzione, di 1 mV per le tensioni, di 1 μA per le correnti e di 0,1 Ω per le resistenze; la precisione eccezionale dell'1 % in corrente continua e 2 % in alternata; infine la considerevole ampiezza delle gamme di misura da 1 mV a 1000 V a.c. e c.c. in quattro portate, da 1 μA a 1 A a.c. e c.c. in quattro portate e da 0,1 Ω a 10 MΩ in cinque portate. La fig. 9.16 riporta lo schema a blocchi del multimetro digitale.

Si nota subito che la maggior parte dei circuiti servono a rendere il segnale d'ingresso accettabile dai circuiti di conteggio. Infatti, uno strumento digitale, a differenza dal classico strumento a indice, è abilitato al solo conteggio di impulsi e non alla misura di tensioni, correnti o resistenze. Ciò perché esso consiste essenzialmente in un contatore che visualizza i dati d'uscita mediante cifre luminose.

Occorre quindi convertire le tensioni o le correnti o i valori resistivi che si devono misurare, in impulsi proporzionali. I metodi per ottenere questo risultato sono diversi: si può convertire la tensione d'ingresso in frequenza, oppure usare la tensione sotto misura per caricare un condensatore in un tempo prestabilito, ottenendo così una rampa; o ancora scaricare a corrente costante il condensatore caricato come precedentemente detto, e utilizzare il tempo di scarica per comandare il conteggio (metodo della doppia rampa).

Ovviamente tutti questi metodi richiedono tensioni e correnti continue in ingresso, per cui la misura delle tensioni e

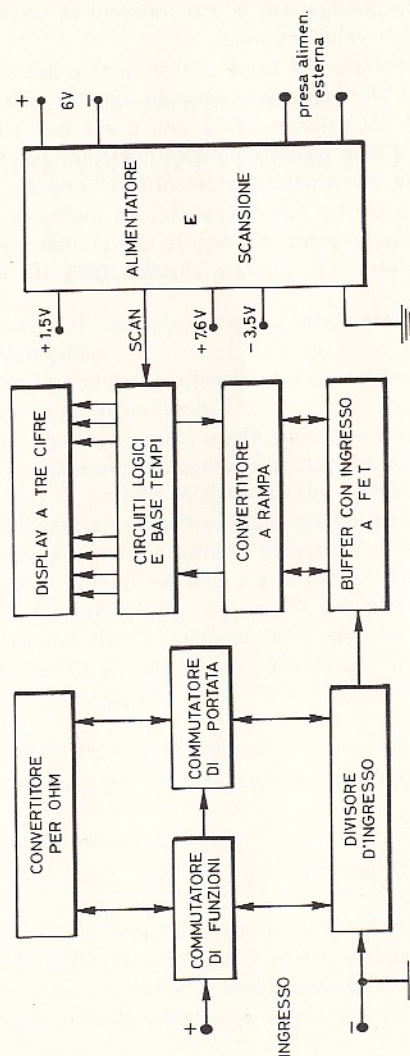


Fig. 9.16 – Schema a blocchi del multimetro digitale.

correnti alternate presuppone la loro preventiva conversione nei corrispondenti valori continui.

Il sistema adottato dal mod. 280 è quello del convertitore a rampa. L'alimentazione richiede quattro pile mezza torcia da 1,5 V, incorporate. Vi è una presa per alimentazione esterna, o, se si usano elementi ricaricabili, per la loro ricarica mediante alimentatore accessorio. L'apparato è interamente protetto contro i sovraccarichi, ed inoltre è provvisto di fusibile situato entro la boccola del puntale negativo.

Lo schema elettrico è riportato alla Tav. C.

CAPITOLO DECIMO

IL MILLIVOLTMETRO ELETTRONICO

Misure di segnale.

Le misure di segnale vengono effettuate con il *millivoltmetro elettronico.*

Anche i voltmetri elettronici e multimetri elettronici consentono misure in millivolt.

Però i voltmetri sono adatti solo per *tensioni continue*, mentre i multimetri consentono misure in continua e *in alternata* con la portata iniziale di 100 millivolt.

Il millivoltmetro ellettronico è adatto per le sole misure di tensione alternata, a tutte le frequenze utili, iniziando con la portata di 1 millivolt fine scala, per i tipi normali, e con quella di 10 millivolt f.s. per quelli più piccoli.

Ne risulta che il millivoltmetro elettronico normale è provvisto di 12 portate, 6 in millivolt e 6 in volt.

Sono le seguenti:

a) *portate in millivolt*:

1 mV   3 mV   10 mV   30 mV   100 mV   300 mV

b) portate in volt:

1 V   3 V   10 V   30 V   100 V   300 V.

I piccoli millivoltmetri sono sprovvisti delle due prime portate in millivolt, quelle a 1 mV e a 3 mV.

Le portate in millivolt sono necessarie, anzi indispensabili, poichè il millivoltmetro è principalmente un misuratore

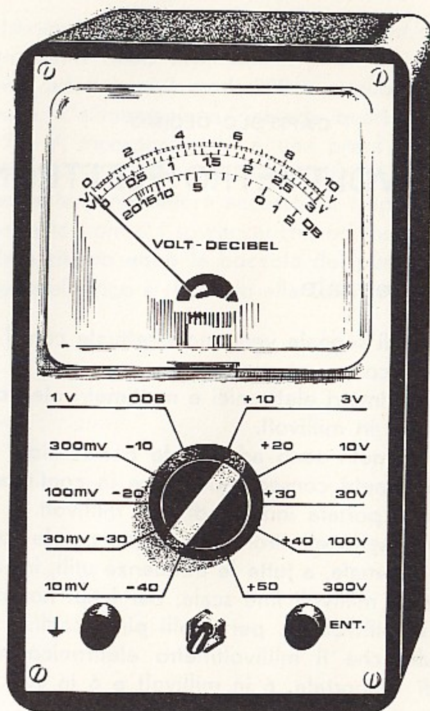


Fig. 10.1 – Millivoltmetro per misure di segnale. Si può notare subito che si tratta di uno strumento modesto, poichè la portata più bassa è di 10 millivolt e di — 40 dB.

di segnali, ossia di tensioni alternate e alternative, a tutte le frequenze da 10 o 20 hertz a 1 o 2 megahertz.

Il millivoltmetro elettronico completa i generatori di segnali e gli oscillatori modulati dei quali è detto nei capitoli 12, 13 e 14.

Viene usato per misure di amplificazione e di attenuazione, per il rilievo delle caratteristiche di risposta e dei

rapporti segnale/disturbo. È utile nelle misure di distorsione, in quelle di attenuazione per diafonìa, viene usato come indicatore nei ponti di misura di resistenze, capacità e induttanze.

Va però notato che per la messa a punto degli apparecchi radio, è sufficiente, insieme con l'oscillatore modulato o il generatore di segnali, il *multimetro elettronico*, del quale è stato detto nel capitolo 9.

Il millivoltmetro elettronico è particolarmente utile durante la messa a punto degli amplificatori audio, specie di quelli destinati ad impianti ad alta fedeltà.

MISURE IN DECIBEL

Poichè il millivoltmetro elettronico viene usato soprattutto per la misura di segnali, e quindi per determinare la caratteristica di frequenza dei complessi audio, esso consente *misure in decibel*.

Il *decibel* è il decimo dell'unità di misura dell'intensità sonora, ossia del *bel* (in onore di Graham Bell), per cui in forma abbreviata si scrive dB.

Le intensità sonore si possono riferire ad una scala graduata in decibel, così come la temperatura può venir riferita ad una scala graduata in gradi centigradi, sopra o sotto zero. Mentre allo 0 della scala del termometro corrisponde la temperatura a cui l'acqua gela, a quello della scala delle intensità sonore corrisponde il minimo suono udibile.

L'orecchio è sensibile alle intensità sonore in forma logaritmica; è molto sensibile ai suoni deboli e poco a quelli molto forti; si accorge di piccole variazioni a debole intensità e solo di grandi variazioni a forte intensità.

Al livello sonoro indicato dalla scala graduata in decibel è stato perciò aggiunto quello dei *rapporti di variazione dell'intensità sonora*, anch'essi espressi in decibel.

In pratica ciò che conta è verificare quale attenuazione subisce l'ampiezza del segnale al variare della sua frequenza.

Collegando all'entrata di un amplificatore un generatore di segnali audio, e alla sua uscita un millivoltmetro elettronico, è possibile misurare l'attenuazione alle frequenze basse ed a quelle alte, ossia ai due estremi della sua curva di risposta.

Si suol dire che l'attenuazione è di 0 decibel nel tratto centrale della curva, la quale risulta lineare per un'ampia banda di frequenze. Quindi si misura l'attenuazione in *decibel negativi*.

I millivoltmetri normali consentono misure in decibel negativi ossia in —dB, su sei portate, unite a quelle in millivolt. Sono le seguenti:

—10 dB . . .	300 mV	—20 dB . . .	100 mV
—30 dB . . .	30 mV	—40 dB . . .	10 mV
—50 dB . . .	3 mV	—60 db . . .	1 mV

Il valore di 0 dB è unito a quello di 1 volt, per cui le portate in *decibel positivi* (+dB) risultano cinque, le seguenti:

+10 dB	3 V	+20 dB	10 V
+30 dB	30 V	+40 dB	100 V
+50 dB	300 V		

Lo strumento di misura è provvisto di una scala graduata in decibel, disposta sotto le due scale principali, quella sino a 10 volt e quella sino a 3 (o 30) volt.

Un esempio di piccolo millivoltmetro elettronico è quello di fig. 10.1. La scala in decibel va da 0 a 40 dB negativi. È la stessa in quasi tutti i MVE.

Misure precise sono quelle nel tratto centrale della scala. Il commutatore di portata consente scatti di 10 decibel.

Il passaggio da misure di tensione a misure in decibel avviene mediante un inversore a due posizioni. A volte le posizioni sono tre, nel qual caso la terza corrisponde all'interruttore acceso/spento o al calibratore.

Per le misure in decibel viene inserito, all'entrata dell'amplificatore, un attenuatore separato da quello per misure di segnali in volt e in millivolt.

L'amplificatore è a più stadi a differenza, ed è fortemente controreazionato. Richiede la periodica calibrazione, quella descritta per i voltmetri e i multimetri elettronici.

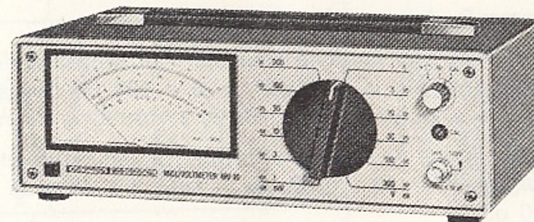


Fig. 10.2 - Esempio di millivoltmetro di classe. La portata iniziale è ad 1 millivolt e a — 60 dB. La portata massima di questi strumenti è generalmente a 300 V.

MISURE IN WATT

I millivoltmetri elettronici di classe elevata consentono anche *misure di potenza d'uscita* in watt, entro uno sola portata, quella da 0 a 10 watt. Le misure sono indicate su un'apposita scala graduata in watt.

Poichè, però, tali misure variano al variare dell'impedenza d'uscita dell'amplificatore, le misure vengono effettuate sulle tre impedenze più comuni, ossia di 4, 8 e 16 ohm.

Semplice misuratore di segnali.

Il voltmetro a valvola è ottimamente adatto per misure di segnali in millivolt, in volt e in decibel. Per di più risulta molto semplice e quindi di facile costruzione. Inoltre è assai poco costoso, all'opposto di quanto avviene per i millivoltmetri elettronici a transistor.

Lo schema di un voltmetro a valvola adatto per misure di segnali, e quindi da usare quale misuratore d'uscita, è quello di fig. 10.3.

Risulta evidente al primo sguardo che funziona con una sola valvola, un doppio triodo 12AU7. L'impedenza d'entrata è molto elevata, per cui le misure sono precise. È senz'altro superiore a qualsiasi tester.

Consente due campi di misura:

a) misure di tensione alternata o di segnali audio, su sette portate, due in millivolt, da 0 a 100 mV e da 0 a 300 mV, e cinque in volt: sino a 1, 3, 10, 30 e 100 V;

b) misure di livello in decibel, a lettura diretta, su tre portate, da —20 a 0 dB, da —15 a +5 dB e da —10 a +10 dB.

La risposta di frequenza è praticamente lineare su tutta la gamma delle frequenze audio, ossia da 20 a 20 000 hertz.

La scala graduata è molto semplice. Consiste di due graduazioni: una per le tensioni in millivolt o in volt, e una per i livelli in decibel.

Il selettore di funzioni è a tre vie ed a tre posizioni, le seguenti:

a) V—CA . . per tutte le tensioni
b) dB×5 . . per misure da —15 dB a + 5 dB
c) dB×1 . . per misure da —10 dB a +10 dB

La terza portata in dB è ottenuta con quella di 1 volt; va da —20 dB a 0 dB.

L'attenuatore d'entrata consiste di 7 resistenze fisse, e di un commutatore ad una via e 7 posizioni. La resistenza complessiva è di 100 000 ohm. È inserita in posizione 0,1 volt.

L'amplificatore è molto semplice. Di essenziale importanza è la controreazione negativa applicata dalla sua uscita alla sua entrata (catodo del primo triodo). La resistenza

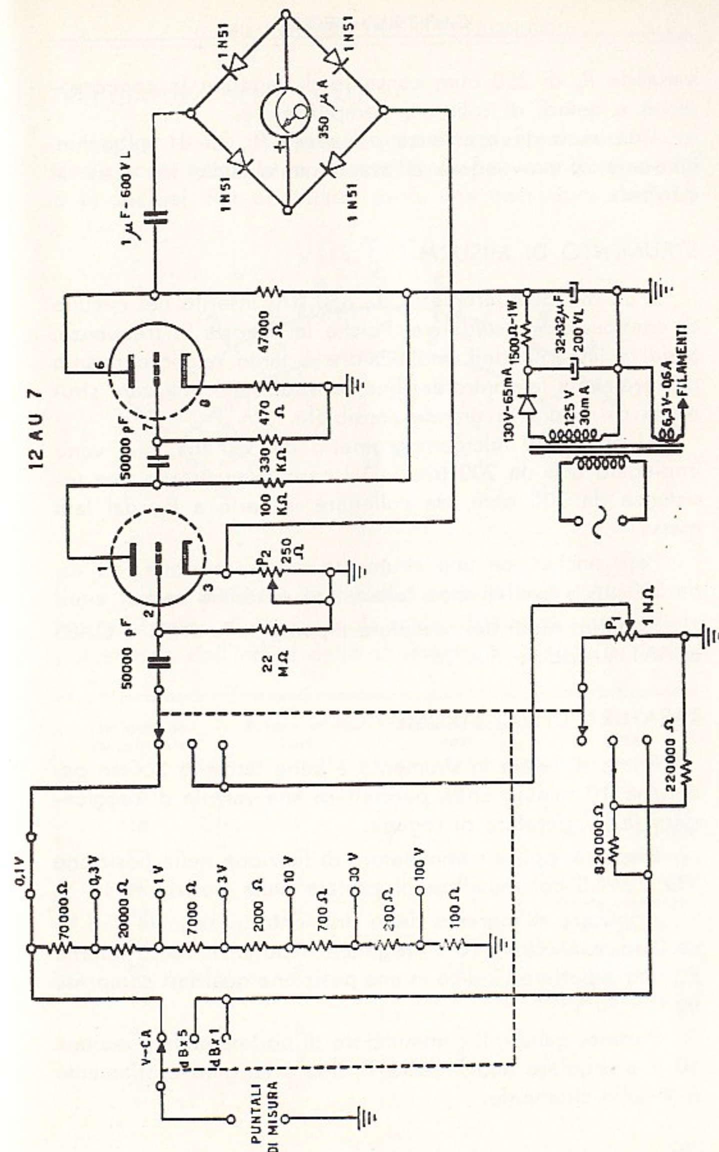


Fig. 10.3 – Schema di strumento elettronico per misure di livello.

variabile P_2 di 250 ohm consente di regolare la controreazione e quindi di calibrare l'amplificatore.

Una seconda resistenza variabile, P_1, di 1 megaohm, consente di provvedere all'azzeramento delle tre scale in decibel.

STRUMENTO DI MISURA

È un microamperometro da 350 µA, inserito nel circuito di controreazione negativa. Poichè la risposta in frequenza, ossia la linearità dell'amplificatore è tanto migliore quanto più è elevata la controreazione, è opportuno utilizzare strumenti di misura di grande sensibilità.

Al posto del microamperometro da 350 µA, può venir impiegato uno da 200 µA. In tal caso è necessaria una resistenza da 200 ohm, da collegare in serie a P_2, dal lato massa.

Però anche con uno strumento meno sensibile, ad es. da 500 µA, i risultati sono buoni, sino a 16 000 hertz.

I quattro diodi del rivelatore a ponte sono 1N51 o OA85 o AA119 oppure AA126.

TARATURA DELLO STRUMENTO

Prima di tarare lo strumento è bene lasciarlo acceso per almeno 10 minuti, onde permettere alla valvola di raggiungere la temperatura di regime.

Disporre, poi, il commutatore di funzione nella posizione VOLT ed il commutatore di portata nella posizione 30 V.

Applicare all'ingresso dello strumento un segnale di 5 V: se l'indice è oltre i 10 V, regolare il potenziometro interno P_2, fino a portare l'indice in una posizione qualsiasi compresa fra 0 e 10 V.

Portare, quindi, il commutatore di portata nella posizione 10 V e regolare nuovamente P_2 fino a leggere esattamente 5 V sullo strumento.

TRACCIATURA DELLE SCALE

In fig. 10.4 è illustrato il quadrante dello strumento, sul quale sono tracciate le diverse scale per le misure in volt e in decibel. Per effettuare, però, una tracciatura esatta, è

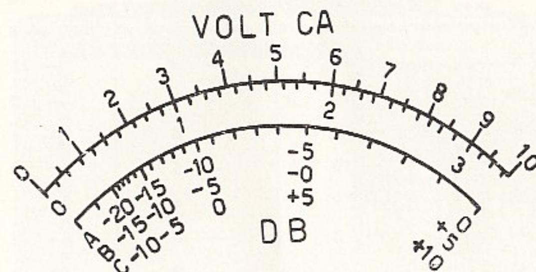


Fig. 10.4.

bene tenere presente le tabelle seguenti, nelle quali sono indicati i valori di ogni singola scala rispetto alla deflessione percentuale dell'indice dello strumento, da sinistra a destra:

Deflessione percentuale	Prima scala volt	Seconda scala volt	Note
0	0	0	La lettura delle tensioni multiple e sottomultiple di quelle indicate, viene fatta eseguendo mentalmente la moltiplicazione o la divisione.
10	1	–	
20	2	–	
30	3	1	
40	4	–	
50	5	–	
60	6	2	
70	7	–	
80	8	–	
90	9	3	
100	10	–	

Deflessione percentuale	Prima scala decibel	Seconda scala decibel	Terza scala decibel
10	— 20	— 15	— 10
18	— 15	— 10	— 5
20	— 14	— 9	— 4
22	— 13	— 8	— 3
25	— 12	— 7	— 2
28	— 11	— 6	— 1
32	— 10	— 5	0
35	— 9	— 4	+ 1
40	— 8	— 3	+ 2
45	— 7	— 2	+ 3
50	— 6	— 1	+ 4
56	— 5	0	+ 5
63	— 4	+ 1	+ 6
71	— 3	+ 2	+ 7
79	— 2	+ 3	+ 8
89	— 1	+ 4	+ 9
100	0	+ 5	+ 10

Il millivoltmetro MV5 della Grundig.

È un apparecchio di misura di precisione elevata e di alta sensibilità. La portata inferiore è di 1 millivolt; consente perciò misure precise di decimi di mV. La portata maggiore è di 300 volt. Consente misure di potenza in watt e di livello in decibel. È adatto oltre che per la riparazione delle apparecchiature elettroniche anche per la messa a punto dei complessi di amplificazione ad alta fedeltà. Lo strumento è da 60 microampere.

Caratteristica notevole di questo apparecchio è di avere due distinte sezioni di entrata, ciascuna con il proprio selettore delle portate. Le due sezioni sono denominate « a » e « b ». La fig. 10.5 riporta il pannello frontale dell'MV5.

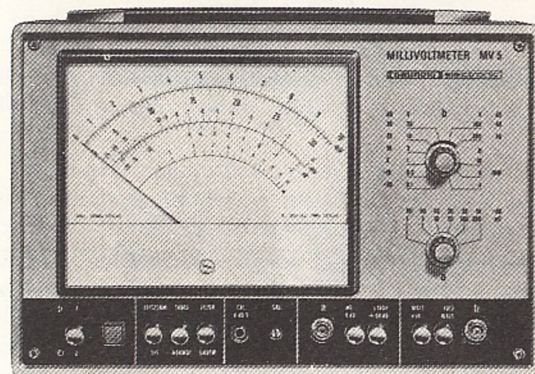


Fig. 10.5 – Millivoltmetro con due entrate, per la misura simultanea di due segnali. Lo schema è quello della tav. D.

Si può notare che i selettori sono due. Le portate sono le seguenti:

SEZIONE « a »:

1/3/10/30/100/300	millivolt
1/3/10/30/100/300	volt
da —85 a +50	decibel/volt
da —80 a +52	decibel

SEZIONE « b »:

100/300	millivolt
1/3/10/30/100/300	volt
da —45 a +50	decibel/volt
da —40 a +52	decibel

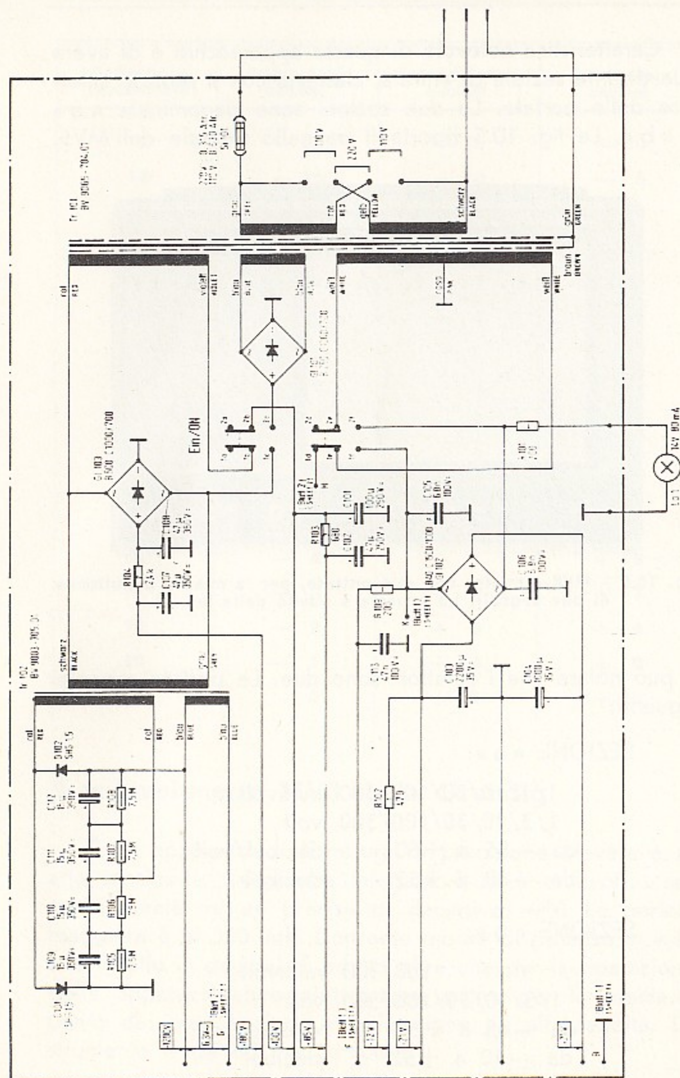


Fig. 10.6 - Alimentatore del millivoltmetro di fig. 10.5.

Le due sezioni consentono di applicare all'entrata dell'MV5 due segnali diversi, ad es. quello d'entrata e quello d'uscita di un amplificatore, contemporaneamente. Premendo un pulsante, l'indice dello strumento fornisce una misura, premendo un altro pulsante, fornisce l'altra lettura.

Le due prese sono indicate con « a » e « b ». A fianco di ciascuna di esse vi sono due pulsanti, per l'inserzione della gamma delle portate minori (millivolt) o per quella della gamma delle portate maggiori (volt), ossia da « mV » a « X1000 ».

Lo schema dell'MV5 è riportato dalla tavola D. Risulta alquanto complesso per la presenza, alle due entrate, di uno stadio trasformatore d'impedenza, comprendente un BF245A e un BC158A, nonchè per quella del preamplificatore della sezione « a » (al centro, in alto) e per quella dell'amplificatore principale (a destra, in basso) seguìto dal doppio stabilizzatore di tensione, a +12 V ed a —12 V, con sei transistor.

I transistor sono complessivamente 28. L'alimentatore funziona con la tensione della rete-luce. Fornisce quattro tensioni: a +21 e —21 volt, per il doppio stabilizzatore, a +85 e +100 volt. È inserito nell'apparecchio, ma lo schema è disegnato a parte. È quello di fig. 10.6.

SELETTORE PORTATE « a ». — L'impedenza d'entrata è di 1 megaohm per tutte le portate, perciò il selettore è ad impedenza costante. Il principio è quello di fig. 10.7. Alla resistenza variabile R_1 corrispondono, nello schema, le resistenze da R_{401} a R_{405}; alla R_2 corrispondono quelle da R_{407} a R_{411}. Le due fisse sono la R_{406} e la R_{412}. Nello schema, il selettore è in posizione 1 mV.

Il selettore è collegato alla base del transistor di entrata del preamplificatore, la tensione di emittore del quale è stabilizzata con un transistor-serie e un diodo zener.

SELETTORE PORTATE « b ». — È del tipo ad alta resistenza con compensazione delle frequenze elevate, sino a

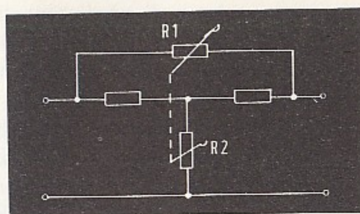


Fig. 10.7 - Principio del selettore ad impedenza costante.

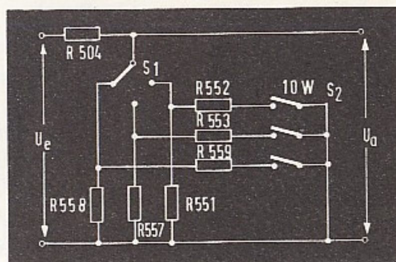


Fig. 10.8 - Principio della misura di potenza in watt.

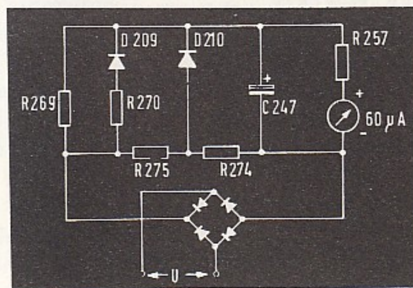


Fig. 10.9 - Schema dell'indicatore.

1 megahertz, adatto sia per misure di tensione sia di livello.

Le tre ultime posizioni sono quelle per le misure di potenza in watt. Sono tre, in corrispondenza ai tre valori: 4, 8 e 16 ohm degli altoparlanti. Le posizioni sono due: sino a 10 watt e sino a 100 watt. Lo schema di principio è quello di fig. 10.8. Con S_1 è indicato il selettore di portata, con S_2 l'inversore da 10 a 100 watt. I numeri delle resistenze sono quelli dello schema.

AMPLIFICATORE PRINCIPALE. — La sua entrata può venir collegata, con un inversore a due posizioni, all'uscita della sezione « a » o a quella della sezione « b », direttamente o tramite un filtro esterno, ad es. quello di un analizzatore di distorsione. L'amplificazione è di 30 volte. Lo stadio in simmetria complementare può venir equilibrato con un calibratore regolabile dal pannello frontale (CAL).

CIRCUITO DELL'INDICATORE. — Un inversore consente il passaggio dalla lettura del valore di cresta a quello di picco della tensione alternativa in esame. Per l'indicazione del valore efficace è utilizzato un particolare circuito in grado di fornire una caratteristica all'incirca quadratica. Il principio è indicato dalla fig. 10.9. La resistenza e i diodi forniscono una polarizzazione al microamperometro.

AMPLIFICATORE A CORRENTE CONTINUA. — Un secondo rettificatore di misura comanda l'amplificatore a corrente continua, comprendente tre transistor e quattro diodi, di cui uno zener. È indicato al lato destro dello schema, verso il centro. La sua uscita è collegata alla presa esterna « 20 mA », disponibile per un eventuale registratore di corrente.

USCITA SEGNALE. — L'MV5 può venir utilizzato come amplificatore di misura. Il segnale applicato ad esso può venir inviato ad un ocilloscopio e divenire visibile sul suo schermo.

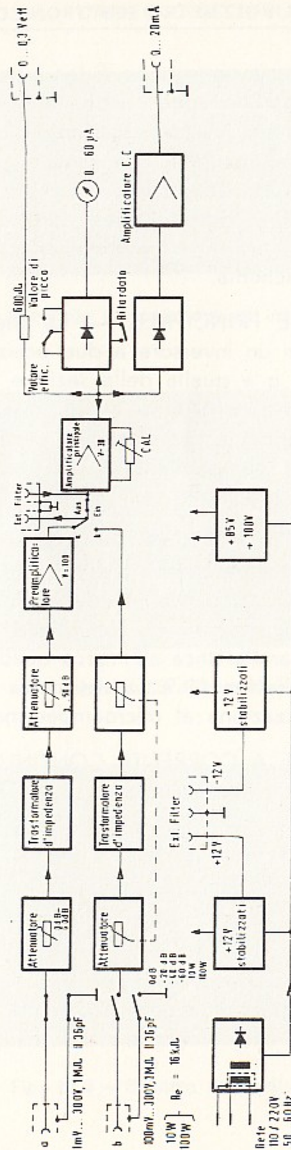


Fig. 10.10 - Schema a blocchi del millivoltmetro di fig. 10.5.

CAPITOLO UNDICESIMO

IL GENERATORE DI SEGNALI A BASSA FREQUENZA

Impiego del generatore BF.

Per la messa a punto della sezione audio degli apparecchi radio, e per quella degli amplificatori a bassa frequenza, è in uso un particolare apparecchio in grado di generare segnali audio, entro un'estesa gamma di frequenze. È utile anche per controllare il comportamento degli altoparlanti alle varie frequenze. Consente di tracciare la curva di risposta degli amplificatori, tenendo conto della resa d'uscita entro tutta la gamma di frequenze audio, da circa 20 hertz sino a 20 000 hertz.

Viene anche usato per fornire la tensione alternativa necessaria per le misure di capacità e di induttanza.

Infine, è utilizzato per la ricerca rapida dei guasti e delle anomalie tanto negli apparecchi radio quanto negli amplificatori. È infatti sufficiente far pervenire all'entrata degli uni e degli altri un segnale, per constatare se esso giunge amplificato all'uscita, ossia se viene riprodotto dall'altoparlante con una nota acustica continua. Qualora ciò non avvenga, il segnale viene applicato agli stadi successivi, sino a localizzare quello che non amplifica o che risulta deteriorato.

Il generatore a bassa frequenza sostituisce i segnali che possono venir forniti da un disco fonografico o da un nastro magnetico, in quanto genera una vasta gamma di frequenze, di ampiezza fissa, e quindi adatta per misure d'uscita con

il tester cc/ca, il voltmetro elettronico o il misuratore di potenza e di livello.

I segnali modulati da voci o suoni sono di ampiezza ampiamente variabile. Fanno oscillare l'indice dello strumento di misura, in modo da rendere impossibile qualsiasi valutazione.

Per la messa a punto, ossia per l'allineamento dei circuiti accordati ad alta e a media frequenza degli apparecchi radio, è in uso l'*oscillatore modulato* o il *generatore di segnali AM/FM*. Di essi sarà detto nei due capitoli seguenti.

Principio dell'oscillatore BF.

Può risultare molto semplice ottenere un segnale a bassa frequenza. È sufficiente un solo transistor, il collettore del quale sia collegato con la propria base, mediante un trasformatore BF.

Un segnale audio è ottenibile anche senza il trasformatore, con una rete di alcuni condensatori e resistenze. Ne risulta un *oscillatore a ritorno di fase*.

Due transistor, la base di ciascuno dei quali sia collegata al collettore dell'altro, formano un *oscillatore a multivibratore*.

Questi semplici oscillatori BF sono utilizzati per modulare il segnale AF generato dall'*oscillatore ad alta frequenza*.

Di essi verrà detto nel prossimo capitolo.

Oscillatori BF di questo tipo possono essere molto semplici poichè *generano una frequenza sola*, a 400 o 1000 hertz.

Complessi sono invece gli *oscillatori BF* adatti per fornire tutta una estesissima gamma di frequenze, con continuità. Il loro principio di funzionamento è completamente diverso.

Per distinguerli dagli oscillatori BF a frequenza fissa, è in uso la denominazione *generatori di segnali a bassa frequenza*.

I generatori di segnali a bassa frequenza.

La loro caratteristica essenziale è di essere in realtà degli amplificatori a bassa frequenza. Generano segnali poichè la loro uscita è collegata all'entrata, mediante un circuito a resistenza-capacità (RC) detto *ponte di Wien*.

La fig. 11.1 riporta il ponte di Wien. Consiste in due resistenze dello stesso valore (*R*), e di due condensatori della stessa capacità (C). Un ramo del ponte è costituito da un condensatore in serie con una resistenza, l'altro ramo consiste di un condensatore in parallelo con l'altra resistenza.

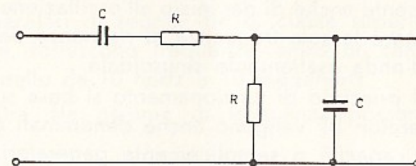


Fig. 11.1 - Principio del ponte di Wien.

Il primo ramo va dall'entrata all'uscita dell'amplificatore, il secondo ne costituisce l'ingresso.

Si vedrà il comportamento del ponte di Wien in un esempio pratico di generatori di segnali a bassa frequenza.

In tal modo un amplificatore può venir messo in condizione di generare segnali a bassa frequenza, di forma sinusoidale.

IL GENERATORE A VARIAZIONE DI RESISTENZA

La generazione di una vasta gamma di frequenze è possibile, poichè il circuito a resistenza-capacità è selettivo, ossia tale da causare una determinata *frequenza d'oscillazione*, a sua volta determinata dal valore della resistenza e della capacità del circuito.

Essendo difficile variare in continuità la capacità, dato il suo valore molto elevato, viene variata la resistenza. La

variazione di frequenza del segnale generato è perciò ottenuta con una *variazione di resistenza* nei due rami del ponte di Wien.

In pratica sarebbe del tutto impossibile ottenere un qualsiasi segnale di forma sinusoidale, se oltre alla reazione non venisse applicata all'amplificatore anche una *controreazione negativa* in grado di bilanciarla. Con la sola reazione, si ottiene un segnale con un gran numero di frequenze sovrapposte, di forma tale da risultare indescrivibile.

La controreazione consente persino di annullare completamente la reazione, e di paralizzare il generatore di segnali. Consente anche di dar inizio all'oscillazione, in modo da far emergere la sola *frequenza di risonanza* del circuito, con forma d'onda esattamente sinusoidale.

Poichè il principio di funzionamento si basa su tale circuito, i generatori BF vengono anche denominati *generatori a resistenza capacità* o semplicemente *generatori RC*.

Mentre i generatori di segnali AF sono provvisti di un *condensatore variabile* per ottenere tutta un'ampia gamma di frequenze, i generatori BF sono provvisti, come detto, di una *resistenza variabile*.

Poichè tale resistenza è presente nei due rami del ponte di Wien, è una resistenza variabile doppia, costituita da due adeguati potenziometri, comandati da una sola manopola.

Come nei generatori AF (e negli apparecchi radio) la gamma complessiva delle frequenze generabili (o ricevibili) è suddivisa in più parti minori, così nei generatori BF la gamma totale è suddivisa in un certo numero di gamme parziali.

La doppia resistenza variabile è sempre la stessa, variano, da una portata all'altra, i due condensatori fissi.

GAMME DI FREQUENZA

I generatori di segnali BF possono essere più o meno complessi, e di costo più o meno elevato, a seconda dell'*estensione totale* delle frequenze che sono in grado di produrre.

I piccoli generatori BF hanno un'estensione di gamma relativamente modesta, compresa tra 100 hertz e 100 chilohertz. Tale gamma, ossia tale *campo di frequenze*, è suddiviso in tre parti. A ciascuna di esse corrisponde una coppia di condensatori fissi del ponte di Wien, nel modo seguente:

a) da 100 a 1000 hertz . . . 2×100 nF
b) da 1 a 10 chilohertz . . 2× 10 nF
c) da 10 a 100 chilohertz . . 2× 1 nF

I generatori di segnali BF di classe superiore, ossia di precisione, forniscono frequenze entro un campo ben più esteso, quello da 10 hertz a 10 megahertz.

Le altre tre gamme di frequenza possono essere le seguenti:

a) da 10 a 100 hertz . . . 2× 1 μF
b) da 100 a 1000 chilohertz . . 2×100 pF
c) da 1 a 10 megahertz . . 2× 10 pF

La portata da 10 a 100 hertz non è facilmente ottenibile, in quanto non basta inserire una coppia di condensatori da 1 microfarad. L'amplificatore è poco efficiente alle bassissime frequenze. È necessario sia di tipo adatto.

La portata da 100 a 1000 chilohertz è altrettanto difficile. Il rendimento degli amplificatori comuni tende a zero già a 20 000 hertz. Sono necessari accorgimenti particolari per ottenere una uniforme resa d'uscita sino a 1 000 000 di hertz.

Ma la portata che offre maggiori difficoltà è quella da 1 a 10 megahertz. Non è soltanto necessario che l'amplificatore sia adeguatamente progettato e costruito, è anche indispensabile che le capacità aggiuntive siano addirittura trascurabili, per non raggiungere o superare i 10 pF necessari in ciascun ramo del ponte.

CATEGORIE DI GENERATORI BF

I piccoli generatori di segnali BF, con campo di frequenza da 100 hertz a 100 chilohertz, sono di facile costruzione, tanto da poter venir realizzati da studenti e principianti.

Sono a tre portate, quelle indicate, ma possono avere una portata in più. La quarta portata può riuscire a soddisfare il giovane costruttore, anche se poi, in pratica, non serve a nulla.

Per evitare confusioni, i generatori BF con 5 o 6 gamme, in grado di produrre effettivamente segnali a resa costante, vengono denominati *generatori di segnali BF a larga banda.*

La denominazione inglese è *wide frequency range generators.*

Va notato che tali generatori forniscono segnali a frequenza molto oltre quella audio. Generano segnali a frequenza radio. La denominazione *generatori BF* è inesatta. Corrisponde bene soltanto per i piccoli oscillatori a frequenza fissa.

Per questa ragione è in uso il termine *generatori RC.*

Particolarità costruttive.

IL COMMUTATORE DI GAMMA

Il passaggio da una portata all'altra è ottenuto con il *commutatore di gamma.* Può essere di due tipi: con manopola girevole o con pulsantiera. La manopola aziona il selettore su una o l'altra delle sue posizioni. La pulsantiera consente di azionare dei tasti, uno per ciascuna portata.

Le varie portate sono indicate sul pannello in un modo o nell'altro. A volte sono segnate le frequenze iniziali di ciascuna gamma. Possono essere le seguenti:

10 Hz   100 Hz   1 kHz   10 kHz   100 kHz

Le indicazioni sono sempre in *hertz* (Hz) e in *chilohertz* (kHz).

In alcuni generatori RC al posto della frequenza di inizio gamma è segnato il *numero moltiplicatore*, relativo a ciascuna gamma, ad esempio:

×1   ×10   ×100   ×1 k   ×10 k

In tal caso la scala graduata è divisa in 10 parti, non però in modo lineare, non essendo ciò possibile dato che le frequenze si addensano sempre verso il fondo scala.

Nell'esempio di fig. 11.2, il commutatore di portata ha le posizioni indicate con moltiplicatori. La lettura va fatta moltiplicando il valore indicato dalla scala per il numero corrispondente alla portata inserita.

In altri generatori a larga banda sono invece usati numeri esponenziali, i seguenti:

10 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6

LA SCALA GRADUATA

Con una manopola si agisce sulla doppia resistenza variabile con la quale è ottenuta la *variazione di frequenza del segnale generato.* A volte è provvista di un largo disco metallico, sul quale sono indicate le varie frequenze. Il disco metallico ha lo scopo di evitare l'effetto della mano. È necessario negli oscillatori ad alta frequenza, ma è soltanto opportuno in quelli a bassa frequenza.

La maggior parte dei generatori di segnali è provvista di scala parlante ad *indice mobile.* (Quando è usato il disco metallico rotante insieme con la manopola, l'*indice* è *fisso.*)

Un esempio di generatore con scala a indice mobile è quello della figura. La scala ha inizio con 5 Hz, dato che si tratta di generatore RC con portate da 5 a 50; le seguenti: 5-50 Hz, 50-500 Hz, 500-5000 Hz, 5-50 kHz e 50-500 kHz

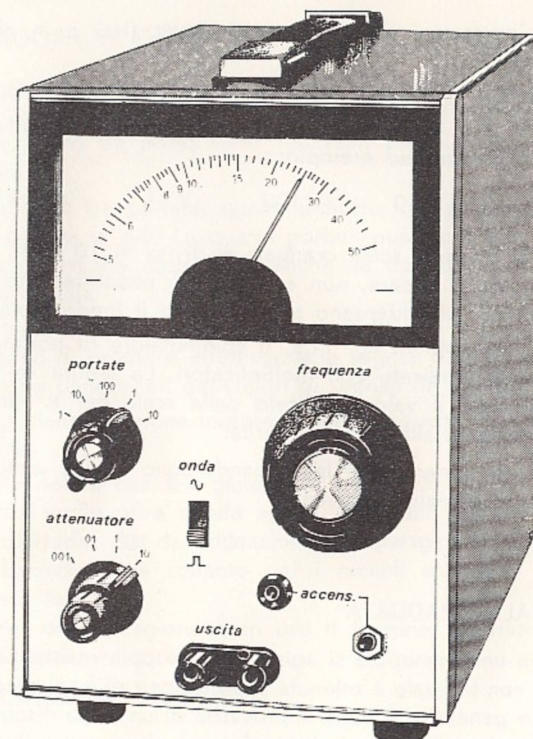


Fig. 11.2 – Tipico aspetto di generatore RC.

La scala è perciò divisa in 11 parti, le seguenti:

5	6	7	8	9	10	15	20	30	40	50

Le portate sono indicate con un numero moltiplicatore, per cui se la portata è ×100 e l'indice è su 15, la frequenza generata è di 15×100=1500 Hz.

La scala di alcuni generatori RC è graduata da 2 a 20. Si tratta di apparecchi in grado di generare frequenze da

20 hertz in su, ad esempio sino a 200 kHz, nelle seguenti quattro portate:

prima:	da	20 Hz	a	200 Hz
seconda:	da	200 Hz	a	2 kHz
terza:	da	2 kHz	a	20 kHz
quarta:	da	20 kHz	a	200 kHz

Nella prima portata, l'indice segna una frequenza 10 volte inferiore, nella seconda 100 volte, nella terza 1000 volte e nella quarta 10 000 volte.

In altri generatori la scala è graduata da 10 a 120, nel modo seguente:

10	11	12	13	14	15	17	20
25	30	40	60	80	100	120	

Si tratta di generatori di alta precisione, del tipo a sei portate, in grado di fornire tutta l'estesissima gamma di frequenze da 10 hertz a 12 megahertz. La scala è perciò divisa nelle 15 parti indicate, anzichè in 10 o 11 come avviene per i generatori di classe inferiore.

L'ATTENUATORE

L'ampiezza del segnale generato, presente all'*uscita* (output), viene regolata con l'*attenuatore*. È importante ottenere un'accurata regolazione della tensione del segnale, per poter effettuare misure precise, partendo da un determinato livello, indicato dallo strumento collegato all'uscita.

Nei piccoli oscillatori BF a tre portate, l'attenuatore è costituito semplicemente da una resistenza variabile, un potenziometro.

Nei generatori a larga banda, l'attenuatore è invece un complesso insieme di più resistenze variabili, unite ad altre fisse. Inoltre è accuratamente schermato in modo da non determinare retrocessioni di segnale all'entrata. Infine, è suddiviso in più portate.

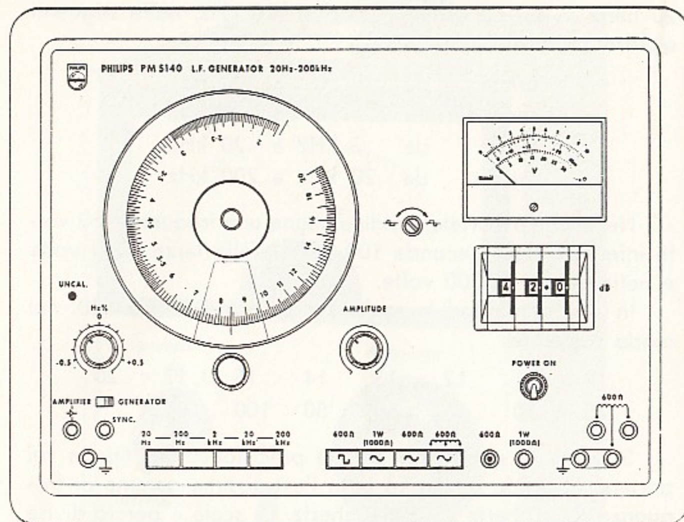


Fig. 11.3 - Esempio di pannello frontale di generatore RC con scala tarata da 2 a 20, e indicatore dell'intensità sonora in decibel.

(Dell'attenuatore è detto ampiamente nel capitolo seguente, data la sua particolare importanza nei generatori AF).

Nell'esempio di fig. 11.2, all'attenuatore corrisponde un comando doppio. La manopola superiore regola la resistenza variabile, mentre la sottostante agisce su un commutatore a quattro portate. Le indicazioni segnate sul pannello sono: 0,01 - 0,1 - 1 - 10. Esse corrispondono ad altrettante tensioni del segnale all'uscita, appunto da 10 mV a 10 V.

Quasi tutti i generatori RC a larga banda hanno uno strumento predisposto per la misura del segnale all'uscita, dopo l'attenuazione. Alla scala graduata in volt è spesso aggiunta una seconda scala, in decibel.

La fig. 11.3 illustra il pannello di un generatore a larga banda, con gamma da 20 Hz a 200 kHz, in 4 portate a pulsantiera. L'attenuazione totale è di 100 dB (99,9 dB). L'attenuatore è a tre sezioni indipendenti, quella da 0 a —90 dB, quella da 0 a —9 dB e quella da 0 a —0,9 dB.

In questo generatore, è visibile l'attenuazione in decibel del segnale, mediante un apposito indicatore numerico a scatto. In figura segna 42 decibel.

Nei generatori RC di alta classe, l'attenuatore è generalmente a sei portate, commutabili, da 0 a —60 dB, con 10 dB per portata. La regolazione fine consente l'attenuazione di 20 dB.

FORMA D'ONDA

Tutti i generatori RC a larga banda forniscono segnali con due diverse forme d'onda, a scelta:

a) onda sinusoidale;

b) onda quadra.

Gli oscillatori RC di tipo semplice forniscono solo il segnale sinusoidale. È del tutto sufficiente per la messa a punto degli apparecchi radio.

Il segnale ad onda quadra è necessario per esaminare la distorsione introdotta durante l'amplificazione, ed è perciò utile per la messa a punto degli amplificatori.

L'onda quadra, vista sullo schermo dell'oscilloscopio, rende evidente la distorsione subìta attraversando gli stadi dell'amplificatore in esame.

Esempio di generatore RC a larga banda.

La fig. 11.4 riporta lo schema originale di un semplice generatore RC, in grado di fornire la gamma di frequenze compresa tra 15 hertz e 1,5 megahertz, su cinque portate.

Funziona con tre transistor 2N706, corrispondenti ai BC107B. Gli stadi d'amplificazione sono due soli, dato che

Fig. 11.4 – Schema di semplice generatore RC a 5 portate.

i transistor Tr_1 e Tr_2 sono collegati insieme in configurazione Darlington. Questo allo scopo di ottenere un'entrata ad alta impedenza.

I due rami del ponte di Wien consistono di una delle coppie di condensatori da C_1 a C_{10}, nonchè una coppia di resistenze variabili VR_1 e VR_{1b}, in serie ad una fissa di 650 ohm.

Ne risulta che le resistenze variabili, ciascuna di 10 chilo-ohm, sono coassiali (*ganged*) e perciò comandate dalla manopola di *variazione di frequenza*. Costituiscono la parte più importante del generatore RC, dopo l'amplificatore.

La reazione è ottenuta con il collegamento di uno dei due rami del ponte, dalla base del primo transistor al collettore del terzo transistor all'emittore del secondo, tramite un divisore di tensione (*potential divider*) costituito dalla resistenza variabile VR_3 da un lato, e dalle resistenze R_5 e VR_2, dall'altro.

La VR_2 è l'attenuatore del generatore.

COMPONENTI PRINCIPALI

Un commutatore a due vie e cinque posizioni, S_{1a} e S_{1b}, consente di inserire la coppia di condensatori corrispondente a ciascuna portata.

Le portate sono cinque, come detto. Le singole gamme di frequenza e le coppie di condensatori sono le seguenti:

prima:	da 15 Hz	a 150 Hz		C_1 e C_6
seconda:	da 150 Hz	a 1500 Hz		C_2 e C_7
terza:	da 1,5 kHz	a 15 kHz		C_3 e C_8
quarta:	da 15 kHz	a 150 kHz		C_4 e C_9
quinta:	da 150 kHz	a 1,5 MHz		C_5 e C_{10}

Le capacità sono:

C_1 e C_6	1	microfarad
C_2 e C_7	0,1	microfarad
C_3 e C_8	10	nanofarad
C_4 e C_9	1000	picofarad
C_5 e C_{10}	100	picofarad

Affinchè la forma d'onda risulti effettivamente sinusoidale è necessario che i condensatori di ciascuna coppia siano di capacità eguale. L'amplificatore oscilla, per effetto della reazione, anche se i condensatori inseriti sono di capacità diversa, sino al 20 %. Però in tal caso, la forma d'onda risulta alquanto distorta.

È anche necessario che le due resistenze variabili, R_{1a} e R_{1b}, abbiano andamento eguale, in modo che vi sia lo stesso valore resistivo in ciascun ramo del ponte. Possono essere del tipo a carbone, ma sono meglio adatte quelle a filo. La variazione richiesta è quella necessaria per evitare l'eccessivo addensamento di frequenze verso la fine della scala, ossia l'anti-logaritmica.

L'AMPLIFICATORE

I tre transistor provvedono alla sola amplificazione di tensione del segnale, quella di potenza non essendo necessaria. In pratica, il tipo di transistor meglio adatto dipende dalla quinta portata. Mentre è relativamente facile ottenere un'amplificazione adeguata nella seconda, terza e quarta portata, non è altrettanto facile nella prima e nella sesta. Inoltre è difficile assicurare l'amplificazione indistorta di una banda di frequenze che da 15 Hz giunge sino a 1,5 MHz, in modo che il generatore RC sia effettivamente a larga banda.

Al posto dei tre transistor indicati nello schema, 2N706, ed a quello dei transistor BC107B, possono venir utilmente impiegati tre BCY56, sempreché risulti necessaria anche la quinta portata, quella a frequenze più alte.

La polarizzazione di base di Tr_1 è ottenuta con il partitore di tensione $R_1 + R_2$. Il carico di collettore di TR_3 è basso per consentire la stabilità della resa d'uscita.

Il livello d'uscita del generatore è di 700 mV, con VR_2 al massimo e VR_3 regolato adeguatamente. L'efficienza è del 10 % inferiore ai due lati estremi della gamma totale.

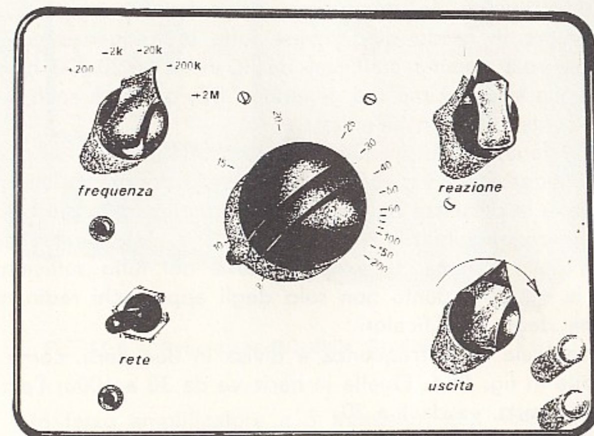


Fig. 11.5 - Aspetto esterno del generatore RC di fig. 11.4.

La regolazione accurata della controreazione (*negative feedback*), con VR_3, ha molta importanza sull'esatta forma d'onda a tutte le frequenze. In posizione di minima resistenza, VR_3 interdice completamente la generazione di segnali.

Il generatore RC è sistemato entro custodia metallica, allo scopo di evitare irradiazioni di segnale e conseguente disturbo.

L'aspetto esterno è quello di fig. 11.5. Sopra il pannello frontale è collocato un cartoncino di colore chiaro, con tutte le indicazioni. La scala è graduata da 8 a 200, però le pre-

stazioni attendibili da parte del generatore sono entro limiti meno ampi, da 15 a 150, per ciascuna portata.

È sufficiente una sola scala per tutte le portate, purchè i condensatori siano di capacità esattamente decimale.

L'oscillatore BF mod. TG4 della Grundig.

A differenza dei generatori a larga banda, questo è un oscillatore in grado di generare tutte le frequenze audio, *in una sola gamma continua*, da 30 hertz a 20 000 hertz. Funziona sul principio dei generatori RC, quindi è anch'esso con ponte di Wien all'entrata.

La variazione di frequenza è però ottenuta con un doppio *condensatore variabile* al posto della doppia resistenza.

Data la presenza del condensatore variabile, la più bassa frequenza ottenibile è quella di 30 hertz. Tale limite inferiore della gamma delle frequenze è del tutto sufficiente per la messa a punto non solo degli apparecchi radio ma anche degli amplificatori.

La scala delle frequenze è divisa in due parti, come è visibile in fig. 11.6. Quella in hertz va da 30 a 1000; l'altra, in chilohertz, va da 1 a 20.

La tensione d'uscita audio va da 0 a 5 volt. L'attenuatore per la variazione ampia è a quattro tasti, con le indicazioni:

×1 ×0,1 ×0,01 ×0,001

La regolazione fine è continua, e regolabile con una manopola.

Il generatore BF fornisce segnali con onda sinusoidale o con onda quadra.

Consiste di un primo amplificatore-oscillatore, a 7 transistor. Il primo transistor è ad effetto di campo. Segue un secondo amplificatore, a 3 transistor, 2 dei quali in stadio finale a simmetria complementare. Precede l'attenuatore, posto all'uscita *A* (su resistenza di 200 ohm).



Fig. 11.6 - Generatore RC della Grundig (mod. TG4).

Un terzo amplificatore a 3 transistor, con stadio finale di partenza, si trova all'uscita *B* (con impedenza di carico di 5, 10, 20, 150 e 600 ohm).

È provvisto di alimentatore stabilizzato. Funziona con 24 volt.

Il generatore RC mod. TG40 della Grundig.

È un generatore RC a larga banda ed a cinque portate, da 10 Hz a 1 MHz. La tensione d'uscita è regolabile con attenuatore a 7 posizioni, da 10 dB ciascuna, e con regolazione continua da 0,1 mV a 6,33 V.

La fig. 11.7 illustra questo generatore. La scala di frequenza è lineare e doppia; per le frequenze in Hz e in kHz sopra, e per quelle in MHz sotto. Il commutatore di

portata è a pulsantiera. I cinque tasti, corrispondenti alle portate, sono visibili sotto la scala delle frequenze. Segue la manopola di comando variazione di frequenza. Vengono quindi i sette tasti dell'attenuatore, con le seguenti ampiezze di segnale all'uscita:

6 mV 20 mV 60 mV 200 mV 0,6 V 2 V 6 V

Alla fine, c'è il tasto di accensione (il generatore funziona con la tensione della rete-luce) e per ultimo il bocchettone di uscita.

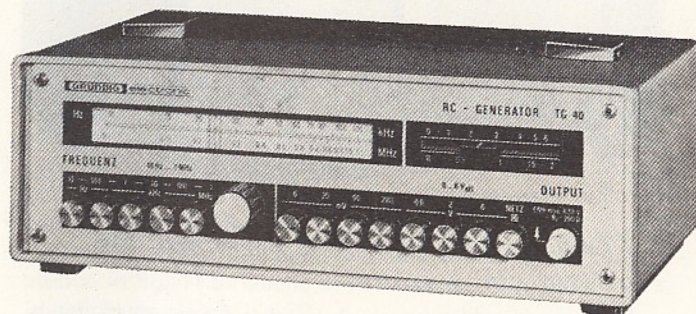


Fig. 11.7 – Generatore RC mod. TG40 della Grundig.

A sinistra della scala, è sistemato l'attenuatore per la regolazione fine.

La fig. 11.8 riporta lo schema a blocchi del generatore. All'entrata sono indicati i due rami del ponte, uno RC in serie e l'altro RC in parallelo. Con il simbolo di due condensatori variabili sono indicate le cinque coppie di condensatori.

Gli amplificatori sono tre, come di consueto. Il primo provvede alla controreazione, indicata in basso. Il segnale per la reazione viene prelevato dall'uscita del secondo. Il terzo amplificatore segue l'attenuatore in continuità per la

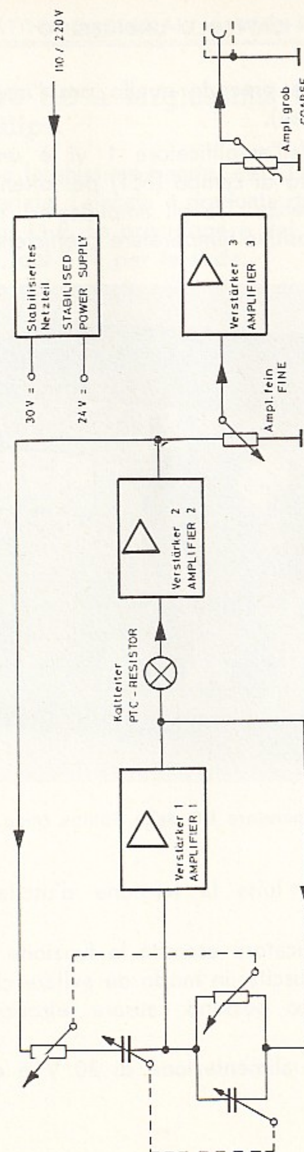


Fig. 11.8 – Schema a blocchi del generatore di fig. 11.7.

regolazione fine e precede quello per l'inserzione ampia (COARSE in inglese).

All'ingresso dell'amplificatore 1 vi è uno stadio con transistor ad effetto di campo (FET) per ottenere un'elevata costanza di frequenza. Tra gli amplificatori 1 e 2 vi è un termistore PTC (*positive temperature coefficient of resistance*)



Fig. 11.9 – Generatore RC della Philips (mod. PM5145).

il quale controlla tutta la tensione d'uscita dell'amplificatore 1.

Il terzo amplificatore esercita la funzione di separatore tra il secondo e l'uscita, in modo da evitare che improvvise variazioni di carico possano causare retroazioni sull'oscillatore.

Le tensioni di alimentazione di 30 V e di 24 V sono stabilizzate.

Il generatore RC a larghissima banda PM5145 della Philips.

È del tipo a larghissima banda, da 10 hertz a 12 megahertz, in sei portate. La scala è graduata da 10 a 120, come è visibile in fig. 11.9. La precisione è del 3 % per le prime cinque portate, del 5 % per la sesta.

La tensione del segnale all'uscita è di 3,2 volt su carico di 50 ohm o di 600 ohm.

L'attenuatore a variazione ampia consente la regolazione da 0 a 60 dB, su dieci posizioni. La variazione continua e fine si effettua da 0 a 20 dB. Il relativo comando è indicato con il termine AMPLITUDE in figura; si trova in basso, al centro.

Il segnale può essere di forma sinusoidale o quadrata, oppure sinusoidale modulata. Un inversore a tre posizioni determina l'inserimento di uno o dell'altro dei tre circuiti.

Uno strumento indica il valore della tensione del segnale all'uscita. La sua scala è graduata da 0 a 6 volt. Una seconda scala segna il valore in decibel.

È alimentato con la tensione della rete-luce; consuma 30 watt. La custodia esterna è interamente metallica; il peso è di 7 chilogrammi.

CAPITOLO DODICESIMO

L'OSCILLATORE MODULATO

Generalità.

L'oscillatore modulato genera segnali entro un vasto campo di frequenze, quelle delle gamme di ricezione degli apparecchi radio. In tal modo sostituisce le emittenti radio, e consente la messa a punto degli apparecchi, ossia l'allineamento dei loro circuiti accordati ad alta e media frequenza.

L'oscillatore modulato viene collegato all'entrata dell'apparecchio, o all'entrata dell'amplificatore a media frequenza. All'uscita è necessario un voltmetro elettronico o altro misuratore d'uscita.

In tal modo è possibile osservare quale sia il risultato della regolazione dei nuclei ferromagnetici delle bobine di accordo, e quello della regolazione dei compensatori presenti negli stessi circuiti.

Vi sono due categorie di generatori di segnali AF in uso nei laboratori radiotecnici. Sono i seguenti:

a) generatori AM o FM modulati;

b) generatori AM/FM modulati e vobulati.

I generatori della prima categoria consentono soltanto l'uso di misuratori d'uscita comuni (tester, voltmetro elettronico, ecc.). Essi forniscono segnali AM oppure FM, con la sola modulazione.

I generatori della seconda categoria consentono anche la visione del segnale, mediante l'*oscilloscopio*. Con essi,

la taratura dei circuiti ad alta e media frequenza risulta molto più precisa.

È nell'uso denominare *oscillatori modulati* i piccoli generatori di segnali AM o FM, provvisti del solo oscillatore BF di modulazione, a frequenza fissa. I generatori maggiori, di classe superiore, provvisti di oscillatore BF ed anche di vobulatore per l'impiego dell'oscilloscopio, sono denominati *generatori di segnali AM/FM*.

Il presente capitolo è dedicato agli *oscillatori modulati*. Nel capitolo seguente verranno descritti i *generatori di segnali AM/FM*, provvisti di oscillatore BF e di vobulatore.

Caratteristiche basilari.

L'oscillatore modulato consiste di:

a) un oscillatore ad alta frequenza;

b) un oscillatore a bassa frequenza.

L'oscillatore AF è a *frequenza variabile*, quello a BF è a *frequenza fissa*, quella di 400 o di 1000 hertz.

IL CAMPO DI FREQUENZE

Il *campo di frequenze* dell'oscillatore AF comprende tutte le *gamme di ricezione* degli apparecchi radio.

Le gamme di ricezione AM, ossia *a modulazione di ampiezza*, sono le seguenti quattro:

OL . .	da 270	a 155	kHz	(da 1110	a 1930 m)
OM . .	da 1600	a 500	kHz	(da 190	a 600 m)
OC . .	da 10	a 3,2	MHz	(da 30	a 94 m)
OCS . .	da 23,1	a 10	MHz	(da 13	a 30 m).

L'oscillatore modulato genera segnali a tutte le frequenze comprese tra i due estremi delle gamme di ricezione, ossia tra 155 kHz e 23,1 MHz. Il suo campo di frequenze

è però più esteso. Dipende dalla classe dell'oscillatore modulato. Generalmente va da 100 kHz sino a 30 o 40 MHz.

In tal caso, il campo di frequenze viene diviso in *sei gamme*.

Se il campo di frequenze è ancora più ampio, e va da 100 chilohertz a 50 megahertz, è suddiviso nelle seguenti otto gamme:

prima:	da	100	a	240	chilohertz
seconda:	da	240	a	530	chilohertz
terza:	da	530	a	1100	chilohertz
quarta:	da	1100	a	2400	chilohertz
quinta:	da	2,4	a	5,3	megahertz
sesta:	da	5,3	a	11	megahertz
settima:	da	11	a	24	megahertz
ottava:	da	24	a	50	megahertz.

LA BANDA ALLARGATA

Benchè queste gamme siano molte, esse non sono sufficienti per l'allineamento dei circuiti accordati a media frequenza AM. Il valore delle medie frequenze va da 450 a 470 chilohertz.

È necessaria una variazione di circa 10 kHz ai due lati della MF, per consentire l'operazione di allineamento.

Sono perciò necessari segnali AF modulati entro la gamma da 440 a 480 kHz.

Si possono ottenere dalla seconda portata dell'oscillatore modulato, quella da 240 a 530 kHz. È però difficile ottenere un segnale ad una frequenza molto precisa, su una gamma tanto estesa. Ad es. è praticamente impossibile regolare l'oscillatore in modo da poter disporre esattamente della frequenza di 455 kHz.

L'oscillatore modulato è perciò provvisto di una *banda allargata* (è detta anche *espansa*) comprendente i segnali AM utili per l'allineamento delle medie frequenze.

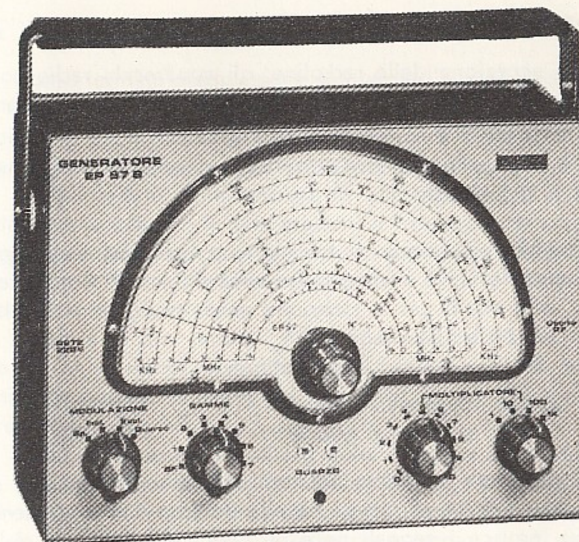


Fig. 12.1 – Esempio di oscillatore modulato AM/FM di produzione nazionale.

L'estensione di tale banda allargata varia da un modello all'altro di oscillatore. Può essere compresa tra 420 e 500 kHz, o da 400 a 530 kHz.

Non è necessario, per il lavoro di messa a punto degli apparecchi radio, che l'oscillatore modulato fornisca segnali AM entro un vastissimo campo di frequenze. In pratica sono sufficienti tre o quattro gamme. È però indispensabile che sia provvisto della banda allargata per la taratura dei circuiti a media frequenza.

Quanto sopra detto si riferisce alla sola *modulazione di ampiezza* (AM).

Non è sufficiente per la messa a punto degli apparecchi radio AM/FM.

La gamma FM.

Ad eccezione delle radioline, gli apparecchi radio consentono anche la ricezione di emittenti ad onde ultracorte ed a modulazione di frequenza (FM).

L'intera gamma di ricezione FM va da 87,7 a 108 MHz (da 3,42 a 2,78 m).

Poichè l'estensione di tale gamma è troppo ampia per consentire la facile ricerca delle emittenti, molti apparecchi radio sono adatti per la ricezione entro una gamma ridotta, quella da 88 a 104 megahertz.

Le due frequenze di centro banda sono:

a) per la gamma intera . . . . 98 MHz.
b) per la gamma ridotta . . . . 94 MHz.

L'*oscillatore modulato FM* fornisce tutte le frequenze su una gamma sola, più estesa, quella da 85 a 110 megahertz. In più fornisce i segnali necessari per l'allineamento delle medie frequenze. In tutti gli apparecchi FM, la media frequenza è a 10,7 MHz, per cui è necessaria una banda allargata intorno a questa sola frequenza.

In tal modo, l'oscillatore modulato FM fornisce i seguenti segnali:

a) gamma intera . . da 85 a 110 MHz
b) banda allargata . . da 9,5 a 11,2 MHz.

La gamma intera, da 85 a 110 MHz, è a modulazione di frequenza, come è evidente. Tale modulazione è ottenuta con una bassa frequenza fissa, generalmente quella di 1000 hertz. La percentuale di modulazione è di ± 25 chilohertz, ossia è pari a quella del 30 % dei segnali AM.

In pratica, sono necessari due oscillatori modulati, uno di tipo AM, per la messa a punto dei circuiti a onde medie e corte, ed un altro di tipo FM, per quelli ad onde ultracorte e a modulazione di frequenza.

La modulazione.

Con il termine *modulazione* si intende l'applicazione della tensione BF alla tensione AF la quale risulta in tal modo *modulata*, ossia rilevabile con l'apparecchio radio sotto forma di nota acustica o con misuratore di uscita.

L'applicazione della tensione BF alla tensione AF è ottenuta sovrapponendo le due tensioni a frequenza diversa; in seguito a tale sovrapposizione l'ampiezza della tensione AF varia con la forma d'onda della tensione BF. Ne risulta una *modulazione d'ampiezza.*

Qualora le due tensioni AF e BF siano della stessa ampiezza, la tensione AF risulta *modulata al cento per cento*, ossia l'ampiezza AF modulata varia dal doppio del suo valore a zero.

Qualora, invece, l'ampiezza della tensione BF modulata sia inferiore all'ampiezza della tensione AF, ne risulta una *percentuale di modulazione* inferiore al cento per cento.

In fig. 12.2 è illustrato, in alto, un esempio di AF modulata al cento per cento, ed in basso, la stessa tensione AF modulata con una percentuale inferiore al cento per cento.

La percentuale di modulazione normale per gli oscillatori modulati è del 30 %.

La percentuale di modulazione può venir variata mediante una resistenza variabile presente all'uscita dell'oscillatore BF.

Produzione di armoniche.

Se un generatore di segnali è collegato ad un ricevitore e se la frequenza dei segnali trasferiti all'entrata del ricevitore è di 500 kHz, essi vengono intesi anche quando il ricevitore è accordato a 1000 kHz, a 1500 kHz, a 2000 kHz, ecc. La deviazione maggiore del misuratore di uscita si otterrà quando il ricevitore sarà accordato alla frequenza principale, o *fondamentale*. Le deviazioni corrispondenti alle

altre frequenze diminuiranno man mano che ci si allontanerà dalla frequenza fondamentale.

Le frequenze superiori e multiple della fondamentale vengono dette *armoniche*. Esse hanno una notevole importanza nell'uso dei generatori di segnali e possono rappresentare uno svantaggio, in quanto possono trarre in inganno, accordando il ricevitore su un'armonica del generatore anzichè sulla fondamentale, oppure un vantaggio, qualora il generatore di segnali non possa fornire frequenze fondamen-

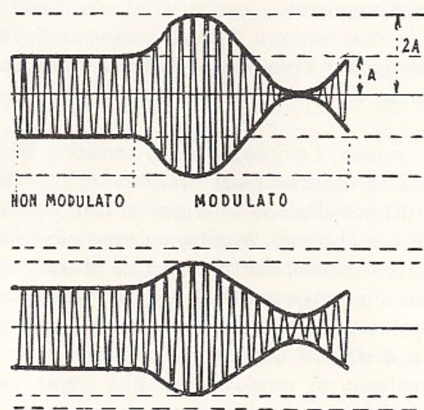


Fig. 12.2 - Esempi di profondità di modulazione.

tali sufficientemente elevate. In tal caso le armoniche sostituiscono la fondamentale mancante. Generalmente le armoniche sono uno svantaggio per i generatori di segnali a vastissima gamma di frequenza, ed utili solo per i generatori di segnali economici, con una sola gamma di frequenza fondamentale.

Nel caso di un generatore di segnali che possieda bobine fisse, e che possa generare frequenze fondamentali

comprese nella sola gamma da 250 a 700 kHz, si possono utilizzare tutte le sue armoniche, dalla seconda alla quinta, estendendo in tal modo la gamma da 250 sino a 3500 kHz, come segue:

Fondamentale	2ª armonica	3ª armonica	4ª armonica	5ª armonica
250	500	750	1000	1250
700	1400	2100	2800	3500

La produzione di frequenze armoniche dipende dal fatto che il transistor che genera le oscillazioni a frequenza fondamentale, e determinata dalla frequenza del circuito oscillatorio con il quale è accoppiata, provvede anche alla parziale rivelazione di tali oscillazioni. Ne risulta una certa distorsione della forma puramente sinusoidale della oscillazione. Il fenomeno di rivelazione dipende dalla tensione di polarizzazione applicata al transistor oscillatore. Se le armoniche non interessano, è necessario che il transistor funzioni nel solo tratto rettilineo della sua caratteristica, ossia esclusivamente da amplificatore. (La produzione di oscillazioni è una conseguenza dell'amplificazione.) Se invece le armoniche sono richieste è necessario che il transistor funzioni anche da rivelatore. Con elevate tensioni di collettore e corrispondentemente elevate tensioni di polarizzazione la produzione delle frequenze armoniche può risultare molto forte.

La frequenza di modulazione rimane costante per tutte le frequenze armoniche. Così, mentre la frequenza della seconda armonica è il doppio della frequenza fondamentale, la frequenza di modulazione è la stessa. Se la frequenza fondamentale di 250 kHz è modulata a 600 hertz, la sua quinta armonica sarà a 1250 kHz, ma la frequenza di modulazione sarà rimasta quella di 600 hertz.

L'attenuazione del segnale.

Il dispositivo che ha il compito di variare l'intensità dei segnali all'uscita dell'oscillatore modulato è detto *attenuatore*. All'entrata dell'attenuatore sono presenti tensioni dell'ordine di qualche decimo di volt, mentre all'uscita occorre che tale tensione possa passare da qualche decimo di volt a qualche microvolt. Ottenere un'attenuazione tanto considerevole, ossia poter ottenere dei rapporti tanto elevati tra la tensione disponibile all'entrata e quella disponibile all'uscita, è indispensabile data la presenza del regolatore automatico di sensibilità (CAV) negli apparecchi radio. È necessario, infatti, che l'allineamento degli stadi a frequenza alta o intermedia venga fatto con ridottissime tensioni del segnale applicato all'ingresso dei ricevitori, in modo da evitare il funzionamento del regolatore automatico.

Esempi di attenuatori.

La fig. 12.3 indica alcuni esempi di attenuatori. In *A* è illustrato il caso più semplice, in cui l'attenuatore è costituito da un potenziometro di circa 1000 ohm. In *B* oltre al potenziometro è presente una resistenza fissa ed un interruttore. La resistenza è di 100 ohm. L' interruttore viene chiuso quando all'uscita i segnali devono essere deboli.

Un esempio di attenuatore costituito semplicemente da un condensatore variabile C della capacità da qualche picofarad sino a 25 o 30 pF, è indicato in C, mentre in *D* è illustrato lo stesso esempio completato dal potenziometro di cui le figure precedenti.

Attenuatori schermati.

Per poter disporre di segnali assai ridotti, dell'ordine di qualche microvolt, è necessario che l'attenuatore sia separatamente ed accuratamente schermato, in modo da essere sottratto all'influenza diretta dell'oscillatore, il quale, a sua volta, deve essere pure schermato. La schermàtura deve essere tale che il campo esterno all'oscillatore non superi 0,1 µV.

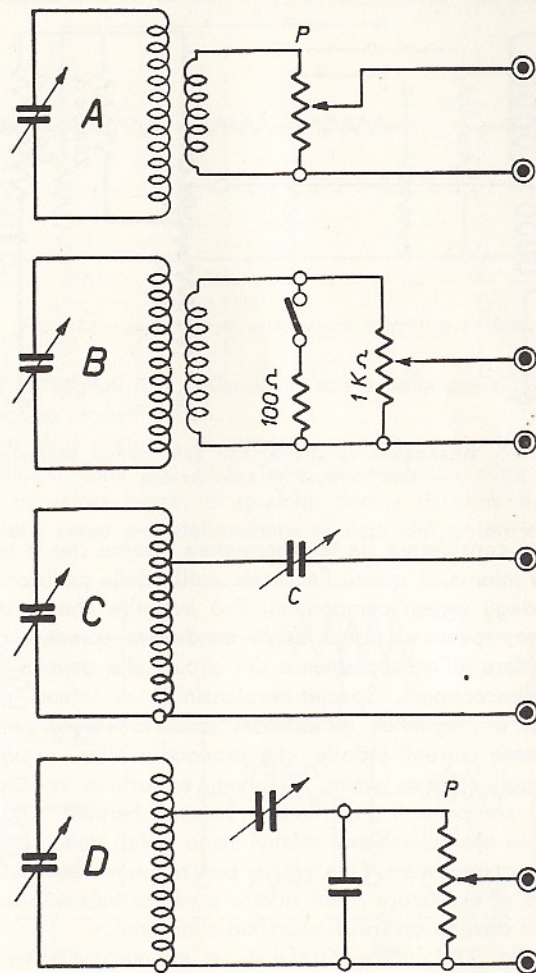


Fig. 12.3 - Esempi di attenuatori per generatori di segnali.

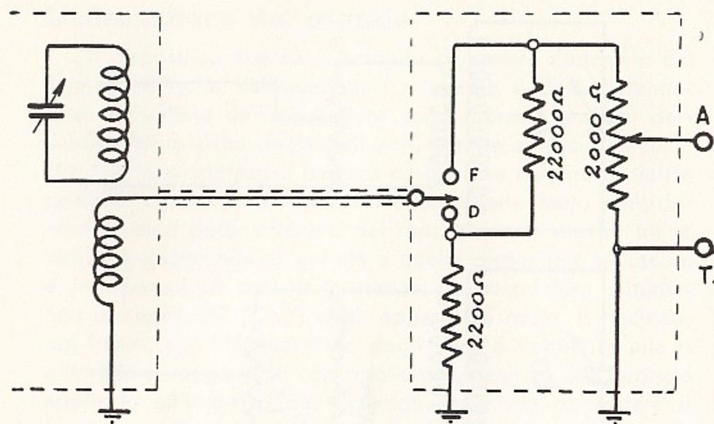


Fig. 12.4 - Attenuatore (a destra) con schermatura separata, per forti rapporti di attenuazione.

Occorre considerare sia la schermatura esterna che la schermatura interna, e quindi l'accurata scelta della posizione interna degli organi componenti. Può avvenire che lo stesso schermo, specie se usato quale conduttore comune, possa provvedere all'accoppiamento dei circuiti che devono rimanere disaccoppiati. Specie in prossimità di intensi campi elettrici o magnetici, gli schermi possono essere percorsi da intense correnti indotte, che provocano altre correnti simili negli schermi vicini. È quindi opportuno che i vari organi componenti l'oscillatore siano schermati singolarmente, e che gli schermi relativi siano isolati dallo schermo esterno complessivo. Solo così si può ottenere che il campo esterno all'oscillatore risulti ridotto a valore trascurabile. Gli schermi devono essere di alluminio o di rame.

La fig. 12.4 indica il caso di un attenuatore schermato separatamente, come è realizzato in pratica in un oscillatore. Quando l'interruttore è nella posizione *F* si ottengono all'esterno segnali forti; quando invece è nella posizione *D* si ottengono segnali deboli.

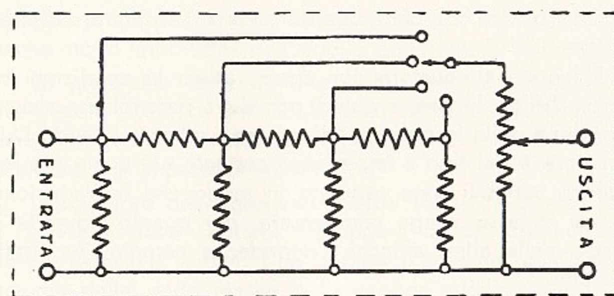


Fig. 12.5 - Esempio di attenuatore a quattro portate.

Un altro esempio di attenuatore molto usato in pratica è indicato dalla fig. 12.5. Tutte le resistenze componenti sono di valore basso, di qualche decina di ohm. Il commutatore serve per determinare ai capi del potenziometro

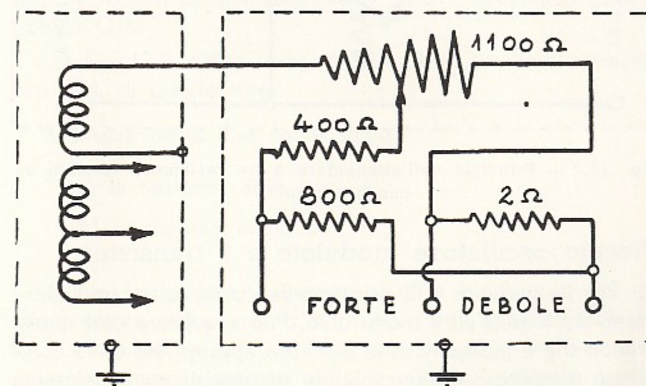


Fig. 12.6 - Attenuatore usato nel generatore di segnali Weston mod. 694.

d'uscita, di due soli ohm, quattro diverse tensioni a radiofrequenza.

Un buon attenuatore non deve variare le condizioni di carico dell'oscillatore, e quindi non deve determinare alcuna variazione della frequenza. Ciò avviene soltanto quando l'attenuatore è del tipo *a impedenza costante* nel quale più resistenze variabili sono regolate in modo che la variazione di una di esse venga compensata, per quanto riguarda il carico, dalle altre, affinchè l'impedenza complessiva risulti costante.

La fig. 12.7 indica un attenuatore costituito da tre resistenze variabili regolate da un unico comando. A ciascuna variazione di R_1 corrisponde una variazione in valore opposto di R_2, sicchè l'impedenza all'entrata dell'attenuatore rimane costante.

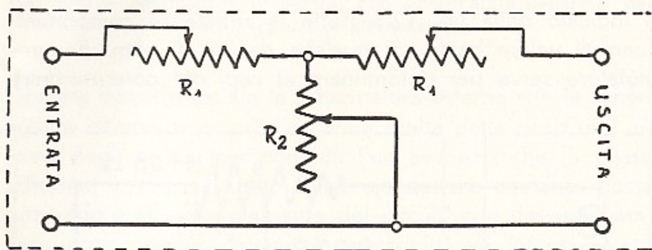


Fig. 12.7 – Principio dell'attenuatore a tre resistenze variabili ed uscita costante.

Piccolo oscillatore modulato a 2 transistor.

Per lo studente o il principiante costruire un oscillatore modulato è senz'altro molto utile. Può acquistare così quella pratica che è indispensabile per l'uso appropriato delle complesse e costose apparecchiature di precisione, attualmente disponibili per l'esatta messa a punto degli apparecchi radio e dei televisori. Un oscillatore a due soli transistor può costituire un primo passo verso una tecnica assai complessa, ma anche molto importante nell'ambito generale dell'elettronica.

La principale difficoltà che si oppone ad un tentativo del genere è quella delle bobine di sintonia. Può venir superata in un modo solo: quello di utilizzare le bobine da ricambio per apparecchi radio.

L'oscillatore deve generare quelle stesse frequenze che il ricevitore deve captare. Le bobine di sintonia possono perciò essere le stesse. Due bobine d'antenna, una per la gamma delle onde medie e l'altra per quella delle onde corte, sono del tutto sufficienti.

Alle due bobine va tolta proprio la « bobina d'antenna ». Rimane l'avvolgimento da collegare al condensatore variabile. È necessario anche l'*avvolgimento di reazione*, per consentire al transistor AF di oscillare. Si può provvedere ad esso con facilità. Sono necessarie 10 spire di filo smaltato da 0,3 mm per la bobina OM, e 5 spire, stesso filo per la OC. Quest'ultima può venir completata con le 15 spire per l'avvolgimento di sintonia, su supporto di polistirolo di 10 mm di diametro. In tal caso è necessaria la sola bobina OM.

La fig. 12.8 indica i vari circuiti di un oscillatore modulato AM, di questo tipo.

Consiste delle due solite sezioni:

a) la sezione radio con TR_1;

b) la sezione audio con TR_2.

Il passaggio da una gamma all'altra è ottenuto con un commutatore a due vie ed a tre posizioni. È ben visibile in fig. 12.9 a destra. Le posizioni sono tre, anzichè due, per poter eliminare la sezione radio, e utilizzare soltanto quella audio, quando occorra la tensione audio, per qualche altro uso.

Il condensatore variabile è del tipo ad aria, come si

conviene ad un generatore di segnali AM, per quanto modesto possa essere. Con la capacità di 500 pF, si ottengono due ampie gamme di frequenza, le seguenti:

prima	(OM)	da 1600	a 500	kHz	(190 .	600 m)
seconda	(OC)	da 7,3	a 3,2	MHz	(30 .	94 m)

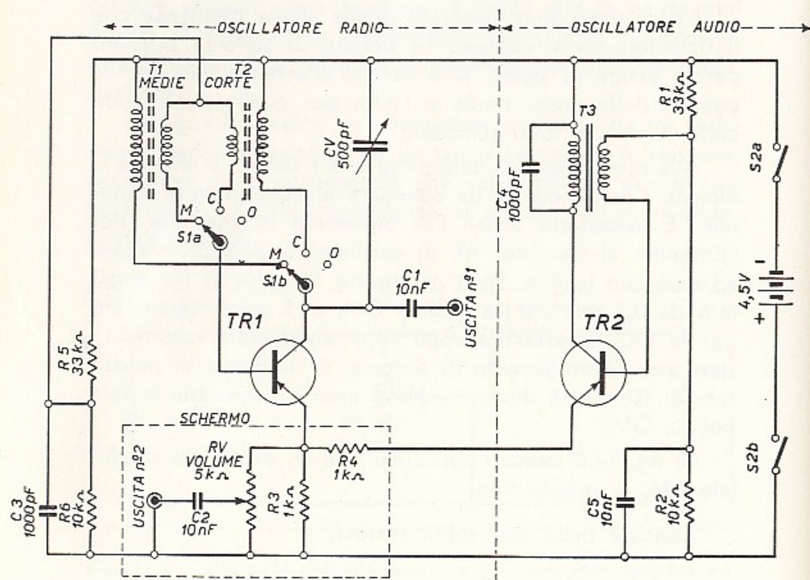


Fig. 12.8 - Oscillatore modulato a transistor.

Occorre tener conto che essendo la capacità del variabile di 500 pF, non è possibile salire a frequenze più alte; non sarebbe opportuno neppure se ciò fosse possibile, data l'eccessiva difficoltà di prelevare segnali a frequenza molto elevata.

Va anche notato che le due gamme indicate sono sufficienti per primi esperimenti, ma che esse sono insufficienti

Fig. 12.9 - Schema di piano di cablaggio.

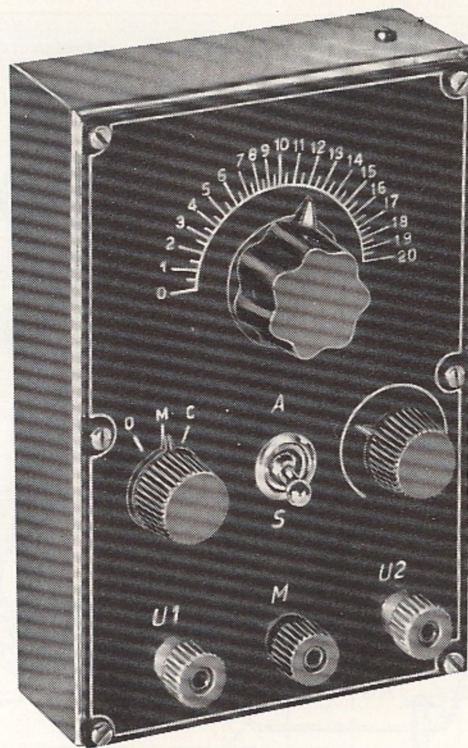


Fig. 12.10 - Oscillatore modulato a transistor.

per la messa a punto degli apparecchi radio. Non comprendono quelle frequenze che sono necessarie per l'allineamento dell'amplificatore a media frequenza, comprese tra 450 e 470 kHz. L'oscillatore fornisce, infatti, solo frequenze da 500 kHz in poi.

È opportuno perciò disporre di una *banda allargata MF.* La si può ottenere facilmente con una posizione in più del

commutatore. È sufficiente un solo condensatore fisso di circa 300 pF, da collegare in parallelo al variabile, in modo da elevare la sua capacità iniziale. È detto condensatore di fondo. Può essere un *padding* da regolare all'atto della messa a punto, o addirittura un altro condensatore variabile, di piccole dimensioni. (Si possono collegare insieme le due sezioni di un variabile da ricambi.)

Meno ampia risulta la gamma, più sicure sono le frequenze che si possono ottenere dall'oscillatore.

Affrontare e risolvere queste difficoltà di ordine pratico è indubbiamente molto utile per lo studente e per il dilettante.

Un altro problema è quello dell'indicazione delle frequenze generate dall'oscillatore. La manopola di sintonia va provvista di una comune scala graduata, a divisione decimale. Quella dell'oscillatore, visibile in fig. 12.10, va da 0 a 20. È necessario approntare due grafici di taratura, uno per le OM e l'altro per le OC. È sufficiente un foglio di carta millimetrata, con le due curve. Come vadano tracciate è detto a parte. Se viene aggiunta la banda allargata MF, è necessaria una terza curva.

CARATTERISTICHE DELL'OSCILLATORE

I due transistor sono: per TR_1 un AF139, bene adatto quale oscillatore; per TR_2 un AC126 o altro simile.

Il trasformatore T_2, appartenente all'oscillatore audio, è un comune trasformatore per il collegamento tra il transistor pilota e lo stadio finale; la presa al centro non va utilizzata. Il condensatore C_4, in parallelo al secondario, determina la nota acustica. Può essere di 1000 pF, o di altra capacità a seconda della nota che riesce più gradita.

La tensione di base di TR_2 è ottenuta con il partitore R_1 e R_2. Le resistenze sono da 10 %, mezzo watt.

La sezione audio è schermata, in modo da evitare interferenze.

Sono indicate due uscite, n. 1 e n. 2 nello schema, U_1 e U_2 nella figura dell'oscillatore; M è la presa di massa, comune ad ambedue.

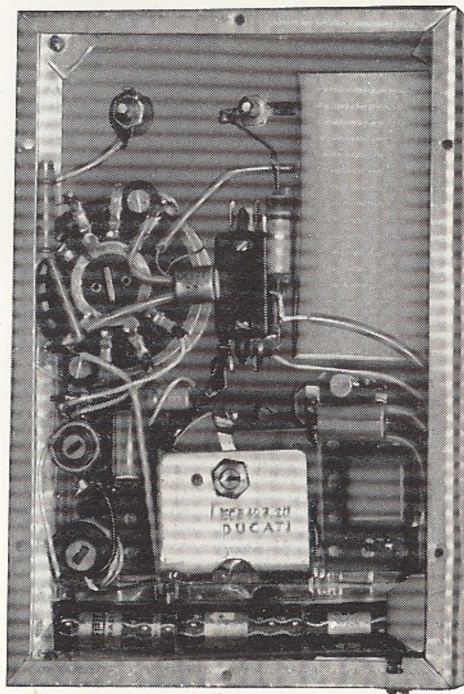


Fig. 12.11 - Componenti dell'oscillatore.

Dall'uscita n. 1 si ottiene la tensione oscillante RF senza modulazione, sinusoidale. Dall'altra uscita è prelevabile il segnale RF modulato. I due oscillatori hanno in comune la resistenza di emittore costituita da R_3 con RV in parallelo. RV è lineare. L'insieme è schermato. Portando il commuta-

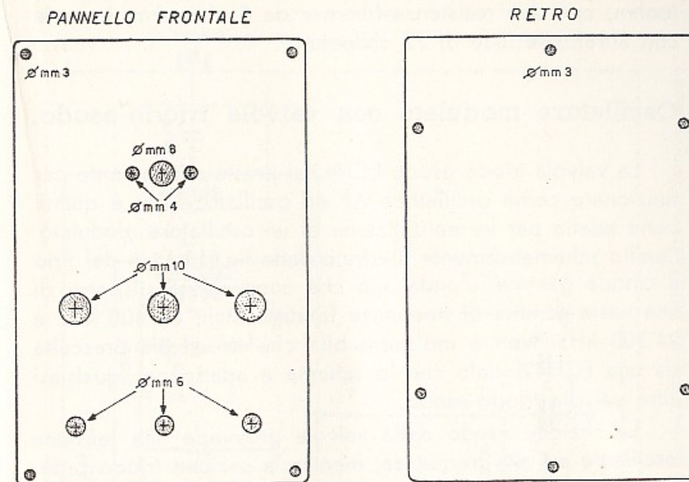


Fig. 12.12 - Piano di foratura.

tore in posizione 0, dall'uscita n. 2 si ricava la sola tensione audio.

L'oscillatore funziona con la tensione di 4,5 volt, ottenuta da tre pilette minimicro in serie.

Può avvenire che occorra invertire i capi degli avvolgimenti primari, in assenza di oscillazioni. L'eventuale precisa polarizzazione di base dei due transistor, se necessaria, va effettuata sostituendo le resistenze fisse R_1 e R_5, di 33 chi-

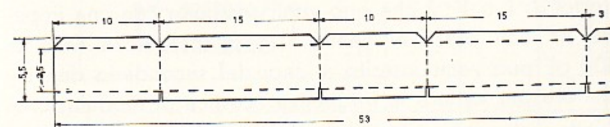


Fig. 12.13 - Perimetro della custodia.

loohm, con due resistenze-trimmer da 5 chiloohm, in serie con altrettante fisse di 27 chiloohm.

Oscillatore modulato con valvola triodo-esodo.

La valvola triodo-esodo ECH42 si presta ottimamente per funzionare come oscillatrice AF ed oscillatrice BF; è quindi bene adatta per la realizzazione di un oscillatore modulato. Quello schematicamente illustrato dalla fig. 12.14 è del tipo a cinque gamme d'onda, ciò che consente di disporre di una vasta gamma di frequenze fondamentali, da 400 kHz a 24 300 kHz. Non è indispensabile che la valvola prescelta sia una ECH42, dato che lo schema è adatto per qualsiasi altra valvola triodo-esodo.

La sezione esodo della valvola provvede alla tensione oscillante ad alta frequenza, mentre la sezione triodo provvede alla tensione alternativa a frequenza acustica, per la modulazione del segnale AF.

Il circuito accordato è formato da un condensatore variabile di capacità tale, che il rapporto di frequenza del circuito è di 3, nonchè di cinque bobine con presa ed un commutatore a due vie, cinque posizioni.

La massima capacità del condensatore variabile è di 350 pF, qualora la sua capacità minima e quella aggiuntiva del circuito sia di circa 62,5 pF. Con bassa capacità aggiuntiva la capacità massima del condensatore variabile può essere minore, ad es. di 300 pF.

Lo stadio oscillatore BF comprende un trasformatore BF rapporto 1 : 1 o 1 : 2 che può venir sostituito con una impedenza BF con presa al centro. Un condensatore fisso di 20 000 pF può venir inserito ai capi del secondario del trasformatore per variare la frequenza acustica di modulazione.

L'attenuatore consiste di una resistenza variabile di 50 000 ohm collegata alla placca dell'esodo. Questa disposizione

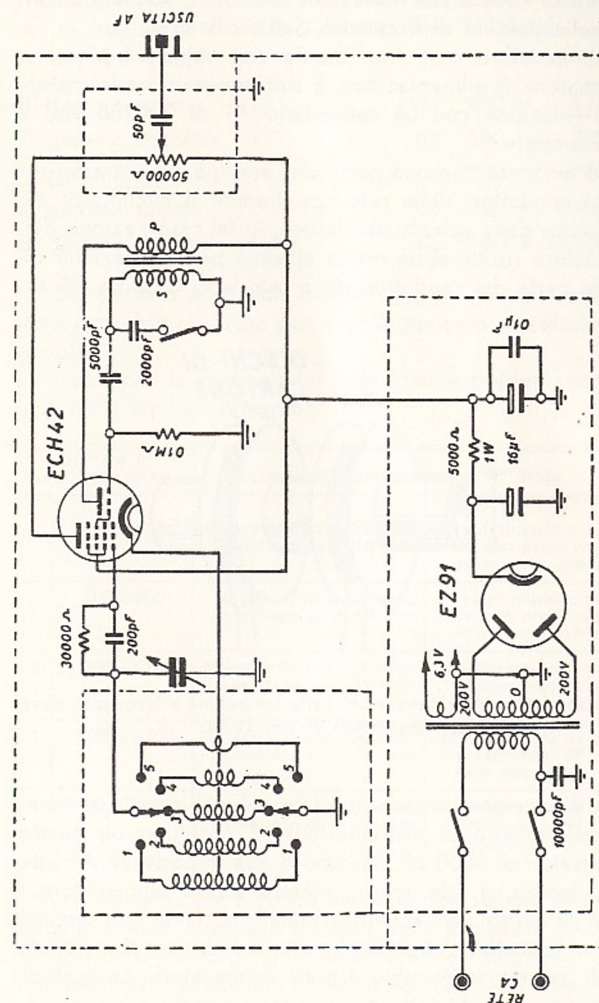


Fig. 12.14 - Schema di oscillatore modulato a cinque gamme d'onda utilizzante un triodo-esodo.

consente di evitare che variazioni del carico abbiano ad influire sulla stabilità di frequenza dell'oscillatore.

L'alimentatore è di tipo usuale con valvola biplacca e trasformatore di alimentazione. È sufficiente un trasformatore di alimentazione con un secondario AT di 2×200 volt e 20 milliampere.

Può avvenire che una parte dell'energia AF si trasferisca lungo i conduttori della rete-luce tramite il circuito di alimentazione della valvola oscillatrice, in tal caso l'azione dell'attenuatore risulterebbe meno efficace per irradiazione diretta da parte dei conduttori della rete-luce. Qualora ciò avvenga è necessario inserire un filtro AF sul circuito primario del trasformatore di alimentazione. È costituito da quattro condensatori di 5000 pF ciascuno e due impedenze AF adeguate. Inoltre, a tale scopo, l'intero stadio alimentatore è contenuto entro uno schermo metallico. Entro un secondo schermo metallico si trovano le cinque bobine e il commutatore di gamma; schermato è pure l'attenuatore. La custodia è metallica e costituisce lo schermo esterno.

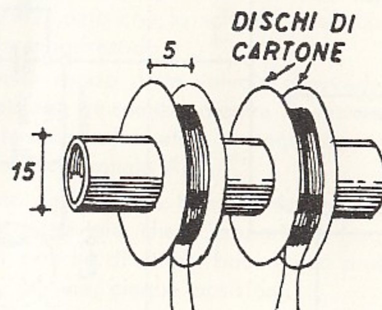


Fig. 12.15 - Aspetto e dimensioni delle tre bobine a frequenza bassa dell'oscillatore di fig. 12.14.

BOBINE. — L'oscillatore consente di coprire l'intera gamma di frequenze da 400 a 24 300 kHz in cinque gamme minori, le seguenti:

a) gamma prima . . . . da 400 a 530 kHz
b) gamma seconda . . . . . da 500 a 900 kHz
c) gamma terza . . . . da 900 a 2700 kHz
d) gamma quarta . . . . da 2700 a 8100 kHz
e) gamma quinta . . . . da 8100 a 24300 kHz

La reazione è di tipo Hartley per cui le cinque bobine sono provviste di presa per il collegamento al catodo della valvola.

I dati per la costruzione delle cinque bobine sono riassunti nella tabella seguente:

	Gamma di frequenze in kHz	Numero di spire	Note
1	400 ÷ 530	460 spire filo ⌀ 0,2 mm smaltato su ⌀ 15 mm	Avvolgimento a matassa con presa alla 90ª spira lato massa
2	500 ÷ 900	160 spire filo ⌀ 0,2 mm smaltato su ⌀ 15 mm	Avvolgimento a matassa con presa alla 60ª spira lato massa
3	900 ÷ 2700	55 spire filo ⌀ 0,2 mm smaltato su ⌀ 15 mm	Avvolgimento a matassa con presa alla 60ª spira lato massa
4	2700 ÷ 8100	33 spire filo ⌀ 0,8 mm smaltato su ⌀ 15 mm	Spire spaziate di 1 mm presa alla 9ª spira lato massa
5	8100 ÷ 24300	11 spire filo ⌀ 0,8 mm smaltato su ⌀ 15 mm	Spire spaziate di 1 mm presa alla 4ª spira lato massa.

Le bobine 1, 2 e 3 vanno divise in due sezioni affiancate, ognuna di esse avvolta a matassa della larghezza di 5 mm; per facilitare l'avvolgimento utilizzare due dischetti di cartone per ciascuna sezione come in fig. 12.15. Le due sezioni possono venir più o meno avvicinate onde regolare il grado

di accoppiamento reattivo e per evitare la produzione di un eccessivo numero di frequenze armoniche la cui presenza potrebbe creare incertezze nell'uso dell'oscillatore.

Oscillatore modulato FM.

Per la messa a punto e l'allineamento degli apparecchi radio FM sono in uso, nei laboratori radiotecnici, complessi e precisi generatori di segnali AM/FM. Di essi è detto nel prossimo capitolo.

Lo studente o il principiante che desideri iniziarsi a questa particolare strumentazione, può costruire un oscillatore modulato FM, in grado di fornire segnali adatti per l'allineamento dei circuiti FM e per quello delle medie frequenze FM. Le gamme di frequenza utili in tal caso sono:

a) emittenti FM: da 88 a 110 MHz

b) medie frequenze FM: da 9,5 a 12 MHz

La media frequenza FM è una sola, a 10,7 megahertz. È però necessario che l'oscillatore fornisca una banda di frequenze intorno ad essa.

Sono sufficienti due soli transistor e pochi componenti, quelli dello schema di fig. 12.16.

SEZIONE RADIO FM. — Il transistor oscillatore FM (TR_2) è un AF239. La sua frequenza di taglio è a 650 MHz. Può venir utilmente utilizzato anche un AF139, con frequenza di taglio poco inferiore, quella di 550 MHz. È meno costoso.

Il condensatore variabile è del tipo adatto per apparecchi FM. È indicato con C_9. La sua capacità va da 3 a 25 pF. È sistemato sulla basetta isolante, come indicato dalla fig. 12.20; ed è comandato con la manopola di comando frequenza di fig. 12.17.

Le bobine di accordo sono L_1 e L_2. Ad inserire l'una o l'altra provvede il commutatore a slitta S_2. È posto sotto la

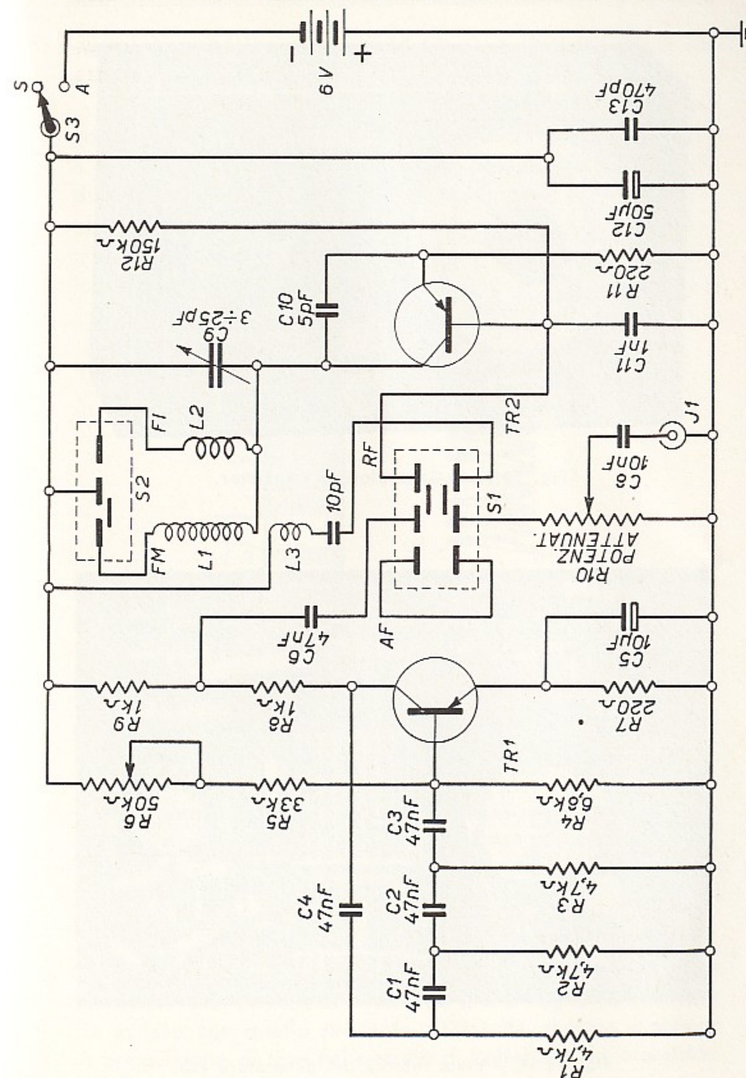


Fig. 12.16 – Generatore FM a transistor.

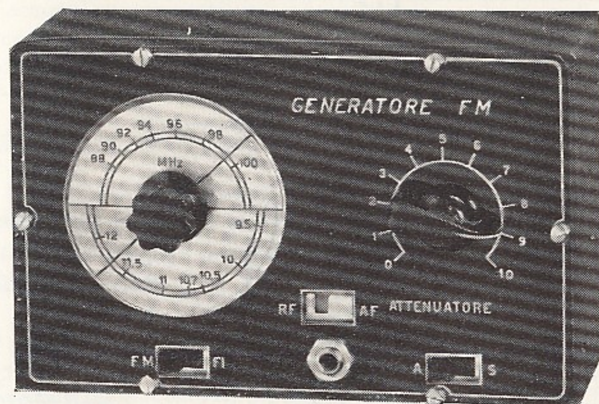


Fig. 12.17 - Generatore a transistor.

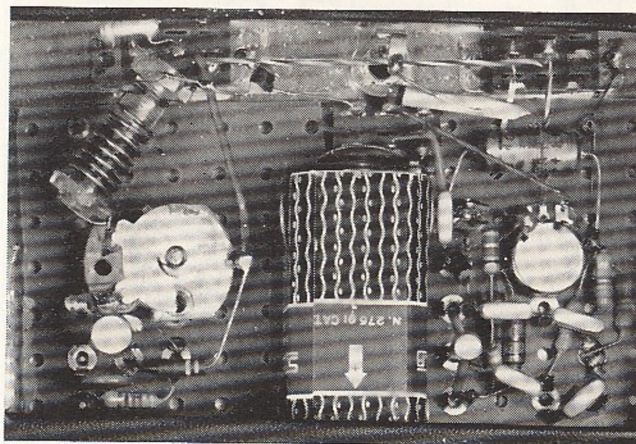


Fig. 12.18 - Vista interna del generatore FM.

manopola di sintonia, in fig. 12.17; porta le indicazioni FM e FI (ossia MF).

Un terzo avvolgimento, L_3, consente di prelevare il segnale FM e di applicarlo, tramite un secondo commutatore a slitta, S_1, al potenziometro attenuatore, in modo da averlo disponibile all'uscita J_1. R_{10} è di 1 kΩ lineare.

I dati per i tre avvolgimenti sono:

L_1 . . 8 spire di filo da 1 mm smaltato
L_2 . . 40 spire di filo da 0,3 mm smaltato
L_3 . . 6 spire di filo da 0,3 mm smaltato.

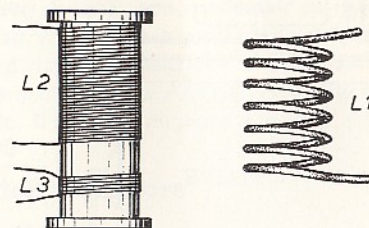


Fig. 12.19 - Bobina per l'oscillatore.

La fig. 12.19 riporta i tre avvolgimenti. L_2 e L_3 vanno disposti sopra un supporto ceramico da 12 mm di diametro. L_1 è sistemato sopra L_2 e L_3, come risulta nello schema costruttivo di fig. 12.20.

La modulazione di frequenza del segnale generato dal circuito è ottenuta in modo molto semplice: applicando la frequenza di modulazione (audio) alla base del transistor AF239. Per tale ragione, questo transistor è in circuito a base comune.

SEZIONE AUDIO. — L'oscillatore audio è del tipo a ritorno di fase. La reazione richiede che il segnale retrocesso sia in fase con quello presente all'entrata, mentre è invece in opposizione di fase nel circuito di collettore del transistor.

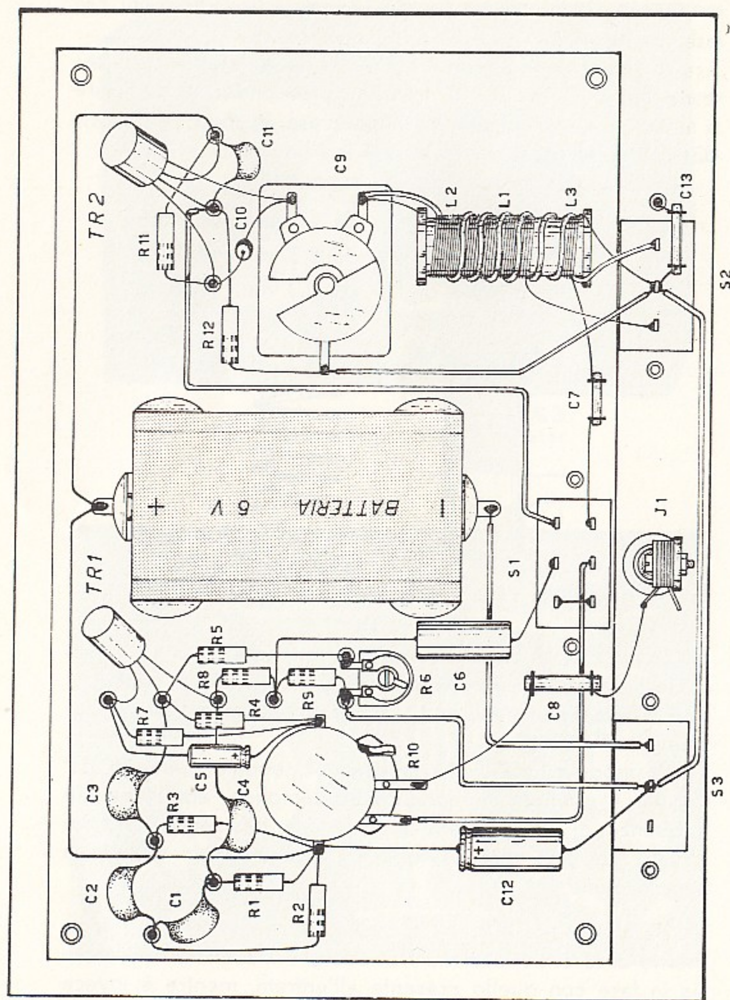


Fig. 12.20 - Piano di cablaggio.

Occorre perciò che venga sfasato, ossia capovolto di fase. In assenza di un trasformatore BF, tale « ritorno » di fase è dovuto alla presenza di tre celle di sfasamento, ciascuna delle quali consiste di un condensatore di 47 nF e di una resistenza di 4,7 chioohm. Il transistor adatto è un AC125.

DATI COSTRUTTIVI. — La fig. 12.20 illustra la posizione dei componenti sul pannello isolante, a sua volta sistemato su altro metallico, facente parte della custodia esterna metallica. La custodia metallica è indispensabile per eliminare la radiazione del segnale.

Gli inversori S_2 e S_3 sono sistemati sul pannello metallico. Tra di essi vi è la presa per l'uscita del segnale.

La taratura richiede attenzione e pazienza. Va effettuata con un apparecchio radio AM/FM in esatte condizioni di funzionamento. Il sistema migliore è quello a battimenti.

Taratura dell'oscillatore.

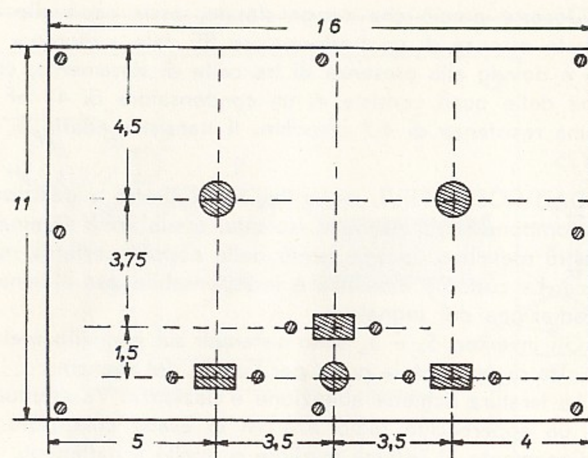
Dopo la costruzione, occorre provvedere all'accurata taratura dell'oscillatore modulato; essa può venir effettuata in più modi, tre dei quali sono i seguenti:

a) per confronto con la scala graduata di un apparecchio radio;

b) per confronto con le frequenze di stazioni radio ben note (sistema a battimenti);

c) con l'aiuto di un frequenzimetro ad eterodina, un ondametro di precisione o un generatore di segnali campione.

I risultati conseguibili con il primo sistema dipendono dalla precisione con cui è graduata la scala parlante dell'apparecchio; il secondo è di buona precisione ma presenta gli inconvenienti che le emittenti si trovano su determinate frequenze e non sempre bene identificabili; il terzo sistema è



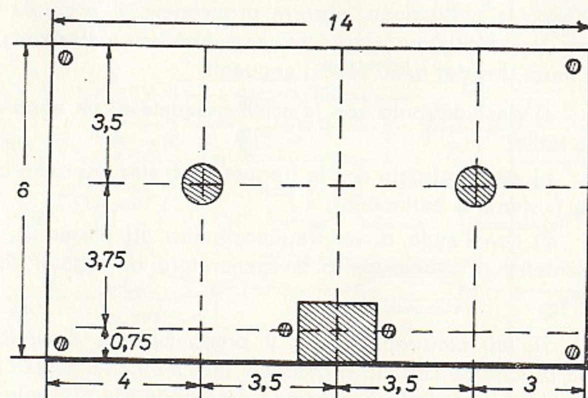


Fig. 12.21 - Caratteristiche dei pannelli.

il migliore, ma richiede strumenti da laboratorio di alta precisione.

TARATURA PER CONFRONTO CON SCALA GRADUATA. — L'oscillatore modulato va collegato all'entrata di un buon apparecchio radio, sulla cui scala vi sia anche la graduazione in frequenza o lunghezza d'onda, per tutte le gamme ricevibili.

L'uscita AF dell'oscillatore modulato va collegata alle prese di antenna e terra, o al telaio, dell'apparecchio, il quale va fatto funzionare senza antenna.

Messo in funzione l'oscillatore, regolando la manopola di sintonia dell'apparecchio radio o dell'oscillatore modulato si sentirà la nota acustica quando oscillatore ed apparecchio si troveranno accordati sulla stessa frequenza. Sarà in tal modo possibile segnare sulla scala dell'oscillatore le frequenze dell'apparecchio. Ripetendo l'operazione su diversi punti, si potrà ottenere la completa graduazione della scala dell'oscillatore.

Se l'apparecchio non possiede la gamma onde lunghe, è necessario tarare l'oscillatore alle frequenze più basse, valendosi delle sue armoniche. Se, ad es., l'oscillatore è in funzione sulla gamma delle frequenze più basse, ad es. da 100 a 300 kHz, l'apparecchio potrà captare le quinte armoniche dell'oscillatore comprese tra $100 \times 5 = 500$ kHz e $300 \times 5 = 1500$ kHz. Quando, ad es., l'apparecchio risulterà accordato a 1500 kHz, si potrà segnare sulla scala dell'oscillatore modulato la frequenza di $1500 : 5 = 300$ kHz.

TARATURA CON IL SISTEMA A BATTIMENTI. — L'oscillatore può venire accuratamente tarato con il sistema a battimenti, ossia sovrapponendo ai segnali da esso generati quelli provenienti da stazioni radio di frequenza ben nota.

A tale scopo collegare l'uscita dell'oscillatore tramite un conduttore avvolto con due o tre spire all'antenna dell'apparecchio; sintonizzare su una emittente a frequenza nota e regolare la manopola dell'oscillatore sino ad udire il fi-

schio di battimento, il quale si annulla nell'istante in cui la frequenza dell'oscillatore corrisponde a quella della stazione ricevuta. Scegliendo più emittenti è possibile tarare l'oscillatore su tutta la scala. I principali valori di MF possono venir segnati sulla scala dell'oscillatore tracciando per punti un grafico di taratura.

TARATURA CON IL FREQUENZIMETRO. — L'oscillatore modulato va tarato con un frequenzimetro o con un ondametro di precisione con il procedimento descritto nel capitolo dedicato alle misure di frequenza.

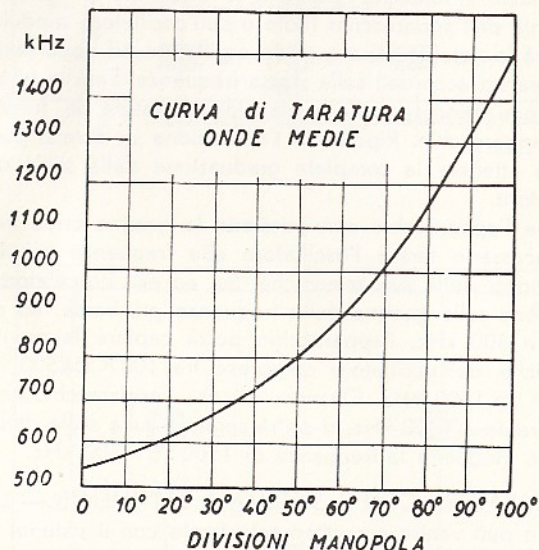


Fig. 12.22 - Esempio di grafico di taratura per la gamma OM.

TRACCIAMENTO DEL GRAFICO DI TARATURA. — Qualunque sia l'oscillatore, e qualunque sia il sistema di taratura, se l'oscillatore è provvisto di manopola a graduazione centesimale, è necessario tracciare un grafico di taratura, simile a quello di fig. 12.22. Tale tracciamento va effettuato su carta millimetrata; in ascisse si segnano i gradi della scala di 10 in 10 in maniera che ad ogni grado corrispondano due millimetri sull'asse delle ascisse. Su quello delle ordinate vanno segnate le varie frequenze in modo da poter distribuire ordinatamente tutte le frequenze.

Vanno segnate alcune frequenze sulla scala delle ordinate e le corrispondenti graduazioni della manopola dell'oscillatore sulla scala delle ascisse. I punti segnati vanno prolungati con rette. La curva di taratura dell'oscillatore va quindi tracciata riunendo i punti di intersecazione tra le rette.

La curva di taratura tracciata per la gamma delle onde medie, corrisponde anche per la gamma delle frequenze fondamentali dell'oscillatore, nonchè per le frequenze delle armoniche superiori.

CAPITOLO TREDICESIMO

IL GENERATORE DI SEGNALI AM/FM

Caratteristiche salienti.

L'allineamento accurato dei circuiti accordati ad alta e a media frequenza degli apparecchi radio AM/FM richiede l'impiego dell'*oscilloscopio*.

L'oscilloscopio consente di vedere come varia la curva di selettività dei circuiti accordati durante la loro taratura. Consente anche l'esatta messa a punto del rivelatore FM, del quale rende visibile la curva ad « S ».

L'oscilloscopio è uno strumento insostituibile nei laboratori radiotecnici, tanto più che essi sono quasi sempre anche videotecnici.

Per l'uso dell'oscilloscopio al posto del voltmetro elettronico, è necessario il *generatore di segnali AM/FM* modulato e vobulato, al posto dell'*oscillatore modulato AM/FM*.

La differenza essenziale tra queste due apparecchiature di misura, consiste nella presenza del *vobulatore* nel generatore di segnali AM/FM.

Il campo di frequenza può essere lo stesso, suddiviso nelle stesse gamme, otto o nove. La modulazione dei segnali generati può essere anch'essa la stessa, come lo è generalmente. Il segnale AM è modulato ad una o all'altra di due frequenze fisse, a 1000 e a 4000 Hz, con il 30 % di modulazione. Il segnale FM è anch'esso modulato, alle due frequenze fisse, ossia a 1000 e a 4000 Hz, con la deviazione 25 kHz, ai due lati.

Il generatore di segnali AM/FM differisce notevolmente dall'oscillatore modulato, per la maggiore precisione delle frequenze fornite e per la maggiore stabilità della tensione oscillante presente all'uscita.

Differisce anche per la maggiore efficacia dell'attenuatore, a variazione continua e commutabile.

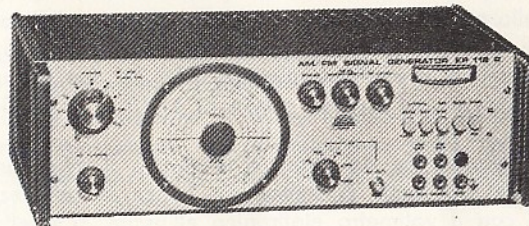


Fig. 13.1 - Esempio di generatore AM/FM di produzione nazionale.

Infine, il generatore di segnali AM/FM è sempre provvisto delle due bande allargate corrispondenti alle medie frequenze AM e FM. Spesso è provvisto di una terza banda allargata, corrispondente alle emittenti FM.

La sua caratteristica essenziale è però, come detto all'inizio, di consentire la *vobulazione* delle bande allargate che possiede. È solo per effetto di tale vobulazione che è possibile l'uso dell'oscilloscopio.

Senza l'oscilloscopio, la vobulazione delle bande allargate riesce del tutto inutile, per cui al posto del generatore di segnali AM/FM è sufficiente l'oscillatore modulato.

Principio della vobulazione.

La vobulazione del segnale consente di sostituire il voltmetro elettronico con l'oscilloscopio, e quindi di vedere sul suo schermo fluorescente la curva di selettività di tutta la sezione radio oppure del solo amplificatore a media fre-

quenza. Consente perciò l'accurata messa a punto dei ricevitori. È in uso il termine *curva di responso* del ricevitore o dell'amplificatore MF.

Il *segnale vobulato* può essere quello fornito entro la banda allargata AM, oppure entro quella FM. In tal modo, riesce utile per la taratura sia dei circuiti AM che di quelli FM.

Nello stesso modo, spesso con lo stesso generatore di segnali, viene effettuata la messa a punto dei circuiti dell'amplificatore a media frequenza video, a due frequenze di massima amplificazione, quelle di 41,75 e di 44,75 megahertz.

La *vobulazione* del segnale sostituisce il movimento a mano del comando di frequenza. Senza la vobulazione, quindi con il voltmetro elettronico all'uscita, si effettua la taratura tenendo sott'occhio l'indice dello strumento. Se, ad es., si regolano i nuclei ferromagnetici delle bobine MF di un apparecchio AM, si provvede prima ad ottenere la massima indicazione dello strumento in corrispondenza del valore della MF (ad es. 455 kHz), quindi si varia lentamente la frequenza del segnale, ai due lati di quella centrale per controllare l'attenuazione, in modo da ottenere un certo andamento della « curva di sintonia » che non si vede, ma che si può intuire.

È possibile tracciare la curva su un foglio di carta millimetrata, riportando sull'asse delle ascisse, quello orizzontale, i vari valori del segnale, e su quello delle ordinate, il verticale, i valori della resa d'uscita, indicati dal voltmetro elettronico.

Con l'oscilloscopio è possibile ottenere l'immediata visione della curva di responso dell'amplificatore MF in esame.

Per ottenere questo risultato è necessario sostituire la variazione a mano della frequenza del segnale, con una variazione automatica. È necessario cioè provvedere alla vobulazione del segnale.

Il *vobulatore* sposta la frequenza del segnale generato,

ossia costringe il generatore a fornire un segnale di frequenza continuamente variabile, ai due lati di quella centrale. Tale variazione di frequenza avviene 50 volte durante ciascun secondo.

L'oscilloscopio misura la tensione d'uscita, come il voltmetro elettronico. Senza vobulazione, si forma sul suo schermo un puntino luminoso, ad una certa altezza, sopra il centro dello schermo, proporzionale alla tensione.

Può fornire una riga orizzontale al posto di un punto, se il punto è messo in rapida corsa.

Con la vobulazione, il punto luminoso si muove sullo schermo, spostandosi in corrispondenza delle varie rese d'uscita. Data la rapidità dello spostamento (50 volte al secondo) sullo schermo diviene visibile una curva luminosa.

AMPIEZZA DI VOBULAZIONE

Nella banda allargata per le medie frequenze AM, compresa tra 400 kHz e 530 kHz, l'ampiezza della vobulazione è di 40 kHz, ossia è di 20 kHz ai due lati della frequenza centrale.

Se, ad es., il valore della MF è di 460 kHz, con la vobulazione, il segnale varia da 440 kHz a 480 kHz, 50 volte al secondo.

Nella banda allargata a 10,7 MHz, quella della MF dei ricevitori FM, l'ampiezza di vobulazione può essere di 280 kHz, ossia 140 kHz ad un lato e all'altro della frequenza di 10,7 MHz.

Le due ampiezze indicate sono quelle fisse, quelle che si producono automaticamente quando viene inserita la vobulazione.

È possibile escluderle, e regolare con continuità l'ampiezza di vobulazione. In tal caso essa può venir regolata da 0 a 100 kHz, nella banda allargata MF/AM, e da 0 a 500 kHz nella banda MF/FM.

FREQUENZA DI VOBULAZIONE

È la stessa in ambedue le bande, di 50 hertz o di 25 hertz a seconda del tipo di vobulatore impiegato.

Il vobulatore.

Il vobulatore provvede a determinare l'escursione di frequenza del segnale generato.

Può essere di due tipi diversi: *a variazione della capacità* del circuito accordato del generatore, oppure *a variazione d'induttanza*.

Quello a variazione di capacità può essere anch'esso di due tipi: *a diodo varicap* o *a transistor a reattanza*.

Il vobulatore a variazione d'induttanza, può essere a sua volta distinto in due tipi diversi, *a laminetta vibrante* o *a riluttanza variabile*.

Il sistema più semplice per ottenere una ritmica variazione di frequenza è quello di impiegare un diodo varicap, inseribile nel circuito accordato del generatore con il tasto « vobulazione ».

È sufficiente applicare al diodo varicap le alternanze della tensione della rete-luce, a 50 hertz, per ottenere l'escursione capacitativa necessaria. La tensione della rete-luce va adeguatamente ridotta, con un trasformatore.

Sino a tanto che tale tensione rimane la stessa, la vobulazione avviene ad ampiezza costante, quella prestabilita, di 40 o 280 kHz, a seconda della banda.

Per ottenere la regolazione dell'ampiezza di vobulazione è sufficiente una resistenza variabile, in grado di variare la *tensione di vobulazione* (quella applicata al diodo varicap) da 0 volt ad un massimo, corrispondente a 10 kHz per la banda MF/AM e 500 kHz per quella MF/FM.

Il vobulatore elettromeccanico a laminetta variabile è utilizzato per la robustezza e la insensibilità alle variazioni ambientali. Consiste in un vibratore unito alla bobina di accordo della banda allargata. È collegato alla rete-luce, tramite un trasformatore riduttore. Gli spostamenti della sua laminetta metallica, affacciata alla bobina, determina ritmiche escursioni di induttanza della stessa, e quindi della frequenza del generatore.

Il vobulatore a riluttanza variabile fa a meno della laminetta vibrante, sostituendola con l'ondulazione della magnetizzazione di un elettromagnete, tra le espansioni polari del quale è sistemata la bobina del circuito accordato.

Va tenuto presente che questi vobulatori non forniscono una deviazione lineare di frequenza, data la forma sinusoidale della tensione della rete-luce. Anche l'escursione di frequenza è *sinusoidale*, mentre dovrebbe essere lineare.

È possibile però ovviare con facilità a questo inconveniente. Basta infatti applicare all'entrata orizzontale dell'oscilloscopio, la stessa tensione alternata con cui vien fatto funzionare il vobulatore, per ottenere la necessaria compensazione.

Alcuni generatori AM/FM forniscono deviazioni lineari, e non già sinusoidali. Sono provvisti di un apposito oscillatore in grado di fornire una *tensione a denti di sega*. La frequenza è di 25 denti di sega al secondo. Tale è perciò anche la frequenza di vobulazione. L'oscillatore si basa sulla scarica di un condensatore fisso, ed impiega un tiristore per interrompere la scarica alla fine di ogni dente. È simile a quello verticale dei televisori portatili.

Esempi d'impiego del vobulatore.

La fig. 13.2 illustra un esempio di utilizzazione del generatore di segnali AM/FM in unione con l'oscilloscopio. La banda vobulata è quella espansa per la media frequenza AM. La curva luminosa presente sullo schermo dell'oscilloscopio è quella di responso alle varie frequenze, di un amplificatore a media frequenza AM.

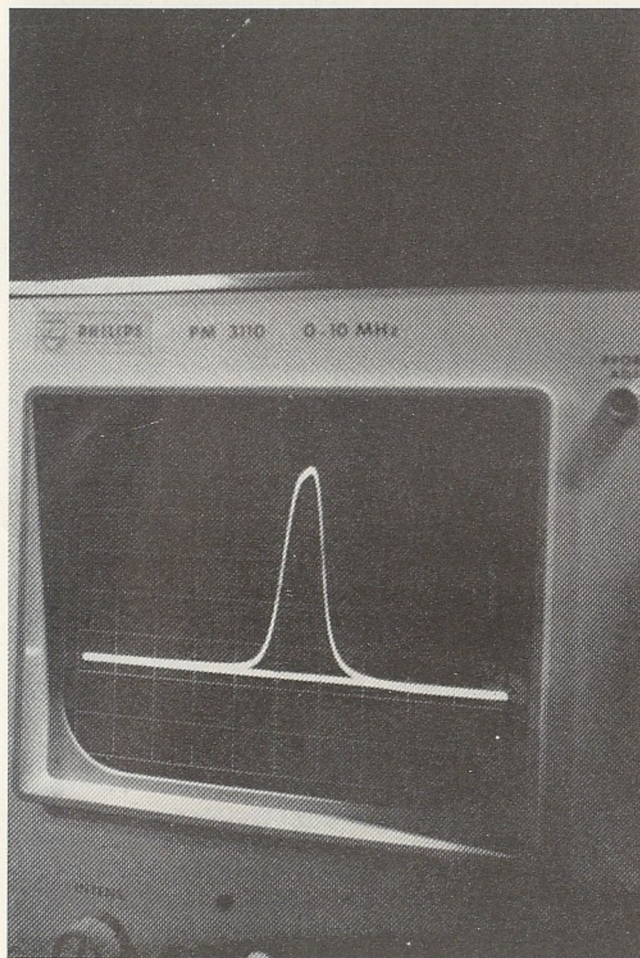


Fig. 13.2 - Curva di selettività della MF/AM ottenuta con generatore di segnali vobulato, sullo schermo di oscilloscopio.

La curva è regolare, simmetrica ai due lati. Dimostra che non vi sono anomalie nell'amplificatore MF. Non è troppo stretta, tale da eliminare una parte delle frequenze di modulazione, e neppure troppo larga, tale da non rendere abbastanza selettivo il ricevitore.

La serie di curve di fig. 13.3 illustrano la forma d'onda del segnale AM generato, modulato con la frequenza for-

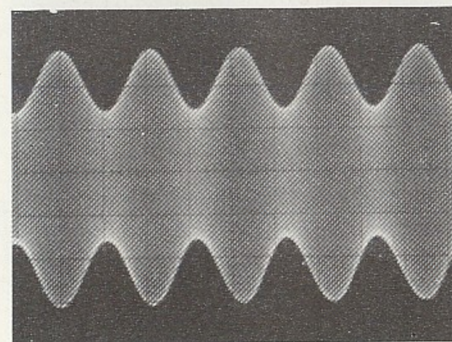


Fig. 13.3 - Come appare il segnale AM modulato sullo schermo dell'oscilloscopio.

nita dall'oscillatore BF a 1000 Hz, con la profondità di modulazione del 30 %.

Infine, la fig. 13.4 riporta la curva ad S di un rivelatore FM a rapporto, corrispondente alla frequenza centrale di 10,7 MHz ed a quella di vobulazione di 500 kHz.

La curva ad S rappresenta l'efficienza del rivelatore FM

Con tali mezzi, è possibile regolare il rivelatore in modo che la sua curva acquisti la massima altezza e contemporaneamente sia esattamente simmetrica, rispetto al centro, e il suo tratto centrale quanto più possibile rettilineo.

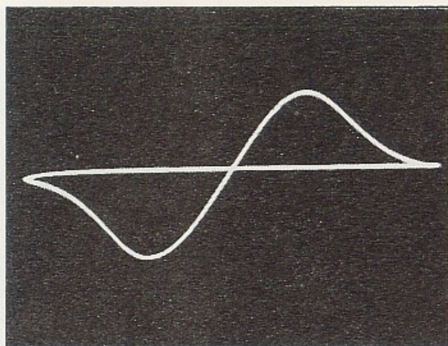


Fig. 13.4 – Curva ad « S » del rivelatore FM.

Generatore AM/FM mod. AS4B della Grundig.

Il suo aspetto esterno è quello illustrato dalla fig. 13.5.

Copre l'intero campo di frequenze da 110 chilohertz sino a 115 megahertz, in 9 gamme.

È provvisto, in più, di tre bande allargate, le seguenti:

a) banda MF/AM . da 400 a 530 kHz
b) banda MF/FM . . da 10,2 a 11,3 MHz
c) banda vobulata . . . . a 10,7 MHz.

Nella banda vobulata, la frequenza di 10,7 MHz viene « spazzolata » di 140 kHz in più o in meno. La frequenza di vobulazione è di 50 hertz, ed è sinusoidale.

L'ampiezza della vobulazione può venir regolata con continuità da 0 sino a 500 kHz.

La tensione disponibile per la deflessione orizzontale dell'oscilloscopio è regolabile da 0 sino a 30 Vpp.

Nella figura, al centro vi è l'ampia scala graduata, relativa alle 9 gamme di frequenza. A sinistra della scala si trova il commutatore di gamma, a 12 posizioni. Le 3 ul-

time a sinistra sono quelle delle tre bande allargate (0,4-0,53, poi 10,2-11,3 e, infine, 10,7 vobulata).

Seguono, dal basso in alto, le tre prime gamme di frequenza (0,11-0,24 . . . 0,24-0,53 . . . 0,52-1,1).

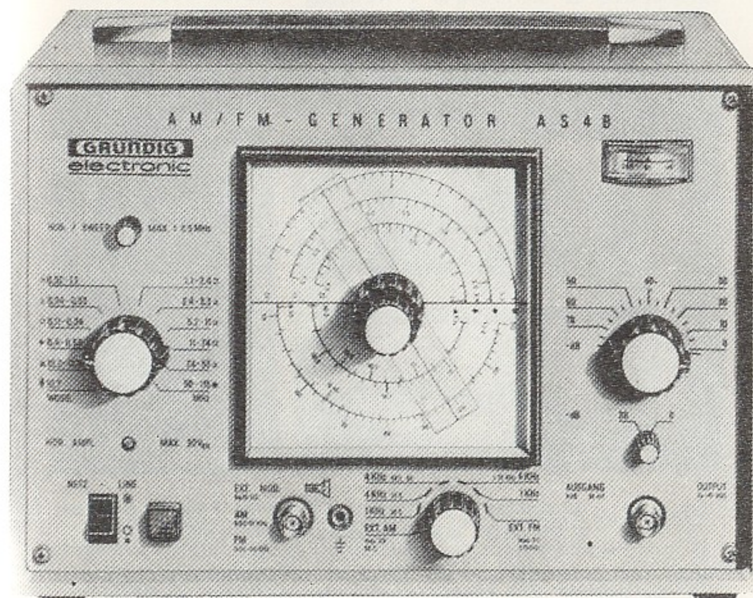


Fig. 13.5 – Generatore AM/FM di produzione tedesca.

Dall'altro lato vi sono le altre sei gamme (1,1-2,4 . . . 2,4-5,3 . . . 5,2-11 . . . 11-24 . . . 24-53 . . . 50-115).

Al lato opposto della scala graduata si trova l'attenuatore, con 8 posizioni, da 0 a 70 decibel negativi.

Sotto la scala graduata c'è il commutatore di modulazione.

Generatore ad alta frequenza Philips mod. PM 5324.

È un generatore AM/FM molto bene adatto per laboratori radiotecnici e per la sala di collaudo, in fabbrica, degli apparecchi radio. Copre l'intera gamma di frequenze da 100 chilohertz a 110 megahertz, in 9 portate.

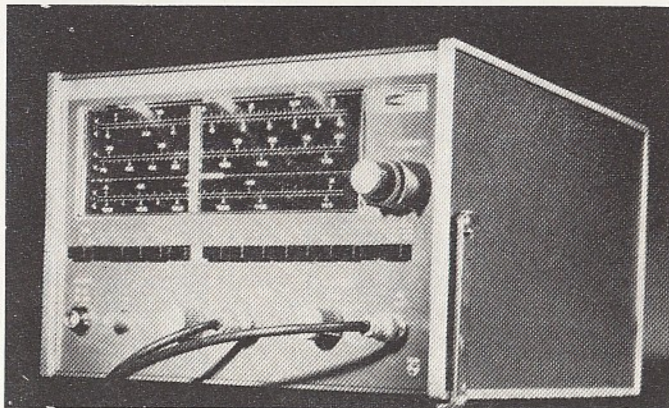


Fig. 13.6 - Generatore AM/FM mod. 5324 della Philips. Dispone di tre bande allargate tutte e tre vobulate.

La portata più bassa, quella da 100 kHz a 300 kHz, consente l'allineamento dei circuiti d'antenna e di oscillatore relativi alle onde lunghe, comprese tra 270 kHz e 155 kHz.

Segue la portata da 300 kHz a 1000 kHz, comprendente una parte delle emittenti ad onde medie, da 520 a 1000 kHz.

Le nove portate sono inseribili con altrettanti tasti. I nove tasti sono visibili in fig. 13.6 allineati a sinistra.

Il generatore consente di ottenere tre bande allargate (*band-spread ranges*). Sono quelle corrispondenti alle medie

frequenze degli apparecchi a modulazione di ampiezza, alla media frequenza di quelli a modulazione di frequenza (da 10,3 a 11,1 MHz) ed alle emittenti FM (da 75 a 110 MHz).

Tutti i segnali possono venir modulati alla frequenza audio di 1000 hertz. Il generatore è provvisto di due uscite, con o senza modulazione.

Nelle tre bande allargate, il segnale può venir vobulato (*sweeped*) in modo da consentire l'esatta messa a punto dei circuiti accordati ad alta e media frequenza, con l'oscilloscopio. L'ampiezza dello *sweep* è di 40 kHz nella banda allargata AM, e di 600 kHz nelle due bande FM.

I sei tasti a sinistra inseriscono le varie funzioni. Due si riferiscono a segnali AM, con modulazione interna a 1 kHz, o con modulazione esterna, ed altri due ai segnali FM. Un quinto tasto inserisce lo *sweep*. Il sesto consente la calibrazione.

Il comando di ampiezza del segnale generato avviene con la manopola a sinistra: *HF amplitude*. Quello di ampiezza dello *sweep*, è a sinistra: *sweep width*.

L'oscilloscopio.

È ampiamente descritto nel volume *Strumenti per videotecnici*. Il principio di funzionamento dell'oscilloscopio, le sue caratteristiche, e le modalità del suo uso richiedono una trattazione troppo ampia per poter venir esposta in questo volume.

CAPITOLO QUATTORDICESIMO

MISURE DI CAPACITÀ

Il capacimetro.

Per le misure di capacità si utilizzano tre sottomultipli dell'unità di misura, il *farad* (F), e per effettuarle si adopera il *capacimetro*.

I tre sottomultipli in uso sono:

a) il *microfarad* (μF) . . . 0,001 farad
b) il *nanofarad* (nF) . . . 0,001 microfarad
c) il *picofarad* (pF) . . . 0,001 nanofarad.

Il capacimetro funziona sullo stesso principio dell'ohmmetro, del quale è stato detto nel capitolo quinto. È soltanto necessario che la tensione sia alternata (per le alte capacità) anzichè quella continua fornita da una pila o da una batteria.

La tensione alternata o oscillante per le misure è ottenuta da un *generatore RC di segnali* (v. capitolo 12°). Il generatore può far parte del capacimetro, ed in tal caso essere costituito da un *multivibratore*.

LA REATTANZA CAPACITIVA

Mentre le resistenze si oppongono al passaggio della *corrente continua*, i condensatori si oppongono a quello della *corrente alternata* o *oscillante*. Offrono una *reattanza capacitiva*. Essa può venir facilmente misurata. L'unità di misura è quella stessa delle resistenze, l'*ohm*. Viene indicata con X_c.

La reattanza dei condensatori vien detta *capacitiva* poichè anche le bobine e gli avvolgimenti in genere, oppongono reattanza al passaggio della corrente alternata o oscillante. Vien detta reattanza induttiva.

La reattanza capacitiva è inversamente proporzionale alla capacità e varia al variare della frequenza della tensione alternata applicata. Ad es., la reattanza capacitiva di un condensatore di 50 pF è di circa 63 MΩ alla frequenza di 50 Hz, di circa 6,3 MΩ alla frequenza di 500 Hz, e di circa 636,934 Ω alla frequenza di 5000 Hz. Quella di un condensatore di 100 000 pF è di 31 847 Ω a 50 Hz, di 3184 Ω a 500 Hz, e di 318,4 Ω a 5000 Hz.

La reattanza capacitiva è data dalla formula seguente:

1 000 000 : (6,28 × Frequenza in hertz × Capacità in μF).

Capacimetro a confronto.

Si basa sul confronto della capacità di due condensatori, quello campione e quello in esame, con il vantaggio di ottenere una lettura diretta della capacità.

Il principio consiste nell'applicare una tensione oscillante ad un condensatore campione, e poi di collegare tale condensatore in serie ad uno strumento di misura, generalmente un microamperometro. Il condensatore scaricandosi determina il passaggio di una corrente nello strumento, il cui indice si sposta.

Con una resistenza variabile si provvede allora alla « calibrazione », ossia a fare giungere l'indice dello strumento esattamente a fondo scala, come si fa per gli ohmmetri.

Fatto questo si toglie il condensatore e lo si sostituisce con quello da misurare. Lo si carica e poi lo si scarica attraverso lo strumento. Se l'indice va esattamente a fondo scala, il condensatore ha la stessa capacità di quello campione, ecc.

In pratica, ciò si può fare con un apparecchio adatto, ossia con un *capacimetro elettronico* a transistor.

Lo schema di fig. 14.1 è quello di un capacimetro elettronico a transistor, a confronto di capacità. Un multivibratore a transistor provvede alla inversione rapida della carica e scarica del condensatore (campione o incognito), affinchè l'indice dello strumento abbia a rimanere immobile, in modo da consentire la lettura. Un diodo zener provvede a mantenere invariabile la tensione applicata al condensatore. Due diodi provvedono ad inserire il circuito di carica a quello di scarica, comprendente il microamperometro.

Il capacimetro è a quattro portate, con altrettanti condensatori campioni. Essi sono del seguente valore:

C_9	100 pF
C_{10}	1 000 pF (= 1 nF)
C_{11}	10 000 pF (= 10 nF)
C_{12}	100 000 pF (= 100 nF)

A ciascuna delle quattro portate corrisponde una frequenza dell'oscillatore a multivibratore. Infatti, se la capacità è piccola, la carica e scarica del condensatore può essere rapida; se la capacità è elevata, carica e scarica sono più lente, e la frequenza del multivibratore deve essere più bassa.

Il multivibratore comprende perciò due gruppi di quattro condensatori ciascuno, da C_1 a C_4, e da C_5 a C_8, delle seguenti capacità:

C_1 e C_5	470 pF
C_2 e C_6	4 700 pF (= 4,7 nF)
C_3 e C_7	47 000 pF (= 47 nF)
C_4 e C_8	470 000 pF (= 470 nF)

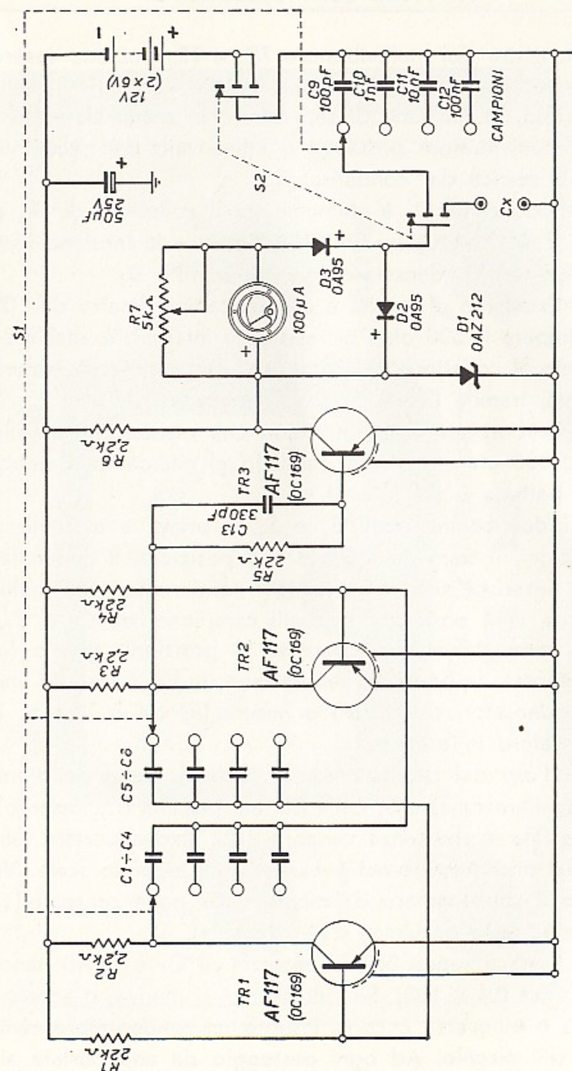


Fig. 14.1 – Schema di capacimetro elettronico.

I transistor del multivibratore TR_1 e TR_2 possono essere OC169 e AF117. È necessario un terzo transistor TR_3, dello stesso tipo, in funzione di separatore, in modo da evitare che il multivibratore possa venir influenzato dai circuiti di carica e scarica dei condensatori.

Il diodo zener D_1 è collocato tra il collettore di TR_3 e massa. È da 9 volt, tipo OAZ212. Fornisce la tensione fissa di carica del condensatore inserito, tramite D_2.

Lo strumento di misura è un microamperometro da 100 microampere (1 500 ohm di resistenza interna), è anch'esso collegato al collettore di TR_3 da un lato, e al condensatore dall'altro, tramite l'altro diodo al germanio, D_3.

La calibrazione è ottenuta con una resistenza variabile R_7 di 5 000 ohm, posta in parallelo al microamperometro.

La batteria è da 12 volt.

Dei due commutatori, S_1 e S_2, il primo è a 3 vie e 4 posizioni, il secondo a 2 vie e 3 posizioni. Il commutatore S_1 inserisce simultaneamente i condensatori del multivibratore, in 4 posizioni, e quelli campione, da C_9 e C_{12}. L'altro commutatore, S_2, consente le posizioni: spento (in cui è staccata la batteria), calibrazione (in cui è inserito uno dei condensatori campione) e misura (in cui è inserito il condensatore in esame).

Per l'uso del capacimetro, si porta S_2 nella posizione « C » (calibrazione) e S_1 nella portata più alta (C_{12} inserito). Va regolata la resistenza variabile (R_7), sino a portare l'indice del microamperometro esattamente a fondo scala. Va inserito il condensatore da misurare C_x nelle prese, e va ruotato S_2 nella posizione « M » (misura).

Se l'indice segna 0,4, la capacità di C_x è di 40 nanofarad (ossia $0{,}4 \times 100$). Se l'indice non si muove, o accenna appena a muoversi, occorre inserire un condensatore campione più piccolo. Ad ogni passaggio da una portata al-

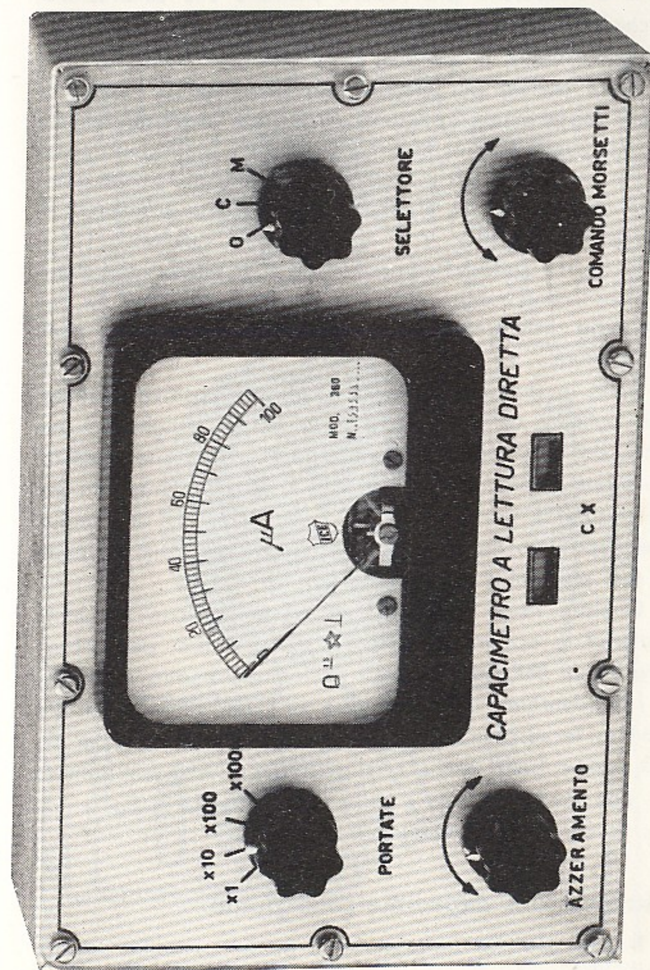


Fig. 14.2 - Aspetto esterno del capacimetro.

l'altra è necessario provvedere anzitutto alla calibrazione, poichè variando la portata varia pure la frequenza di lavoro del capacimetro, e quindi il guadagno del transistor.

Nella portata più piccola (con C_9 inserito) l'indice si muove leggermente in assenza di C_x, per la presenza della capacità dei collegamenti. È necessario che essi siano quanto più corti possibile. Particolarmente corti devono essere quelli dal collettore di TR_3 al microamperometro e ai morsetti di fissaggio di C_X.

La fig. 14.3 mostra componenti e collegamenti del capacimetro. I condensatori e le resistenze intorno ad S_1 (a destra) sono distanziati solo per consentire di vedere i punti di saldatura.

Sotto lo strumento vi è un piccolo dispositivo in materiale isolante, comandato dall'esterno, per trattenere i terminali del condensatore in esame, ed evitare due morsetti, allo scopo di diminuire la capacità residua, e consentire anche misure di pochi picofarad. È trattenuto da una molla. Tale dispositivo non è indispensabile e può venir sostituito da due morsetti.

Qualora risulti necessario misurare capacità di pochi picofarad, è opportuno collocare S_2 al centro, per abbreviare alcuni collegamenti, e il microamperometro a sinistra.

I condensatori campioni sono all'1 per cento e ad alta stabilità; le resistenze sono da un quarto di watt; per D_1 e D_2 vanno bene anche i tipi OA90 e OA92. La batteria non può scendere sotto i 12 volt. La capacità di C_{13} è critica, va cercata sperimentalmente.

Principio del capacimetro a ponte.

Il principio del *capacimetro a ponte* non differisce da quello del ponte di misura per resistenza, del quale è stato detto nel capitolo quinto, salvo per il fatto che al ponte,

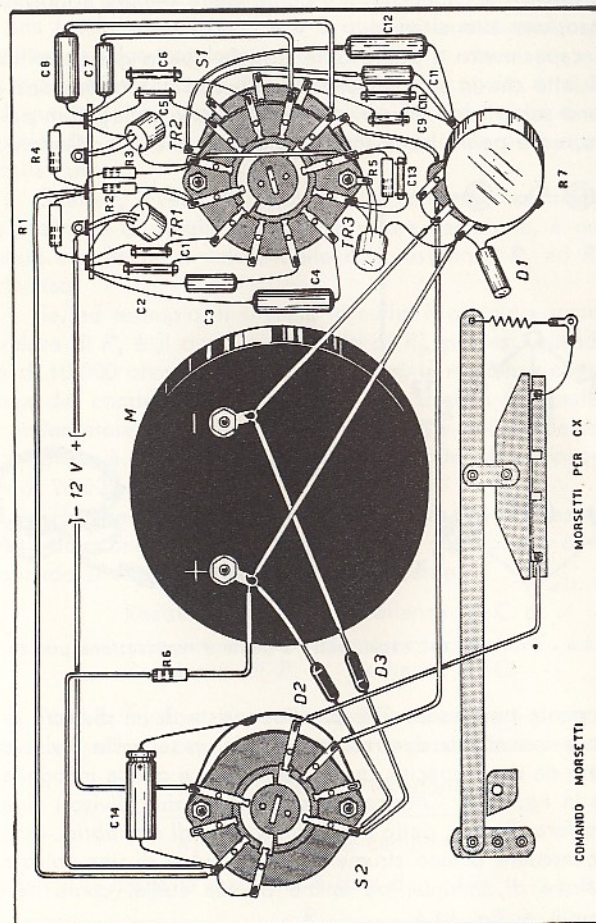


Fig. 14.3 - Componenti il collegamento del capacimetro.

per resistenza viene normalmente applicata una tensione continua, mentre al capacimetro a ponte viene *sempre* applicata una *tensione alternativa.*

Il *capacimetro a ponte* differisce da quello già descritto per il fatto che in esso vi sono due divisori di tensione anzichè uno solo; i due divisori di tensione sono collegati in parallelo, ed a *ponte* tra di loro vi è uno strumento indicatore.

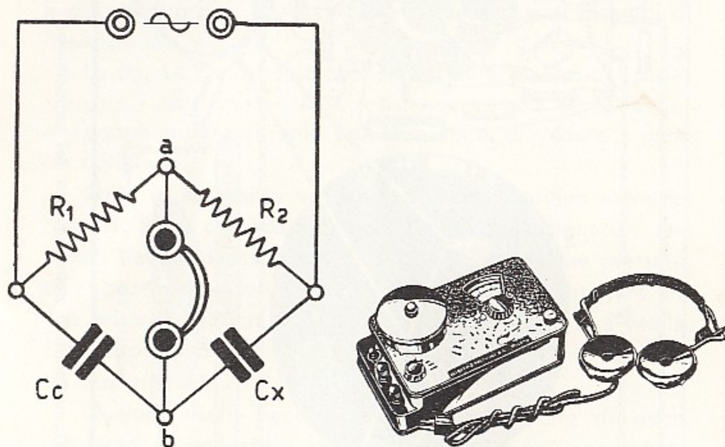


Fig. 14.4 - Principio del capacimetro a ponte e realizzazione pratica.

Il ponte per misura di capacità consiste di un divisore di tensione formato da due resistenze e da un secondo divisore formato da due capacità, quella campione e quella incognita come in fig. 14.4. Collegato a ponte tra i due divisori vi è l'*indicatore di zero,* detto anche *indicatore di equilibrio;* esso può consistere di uno strumento di misura o di una valvola indicatrice di sintonia, od anche di una cuffia, come nell'esempio di fig. 14.4.

Al ponte di misura, ossia ai due divisori di tensione in parallelo, è applicata una tensione alternata o oscillante.

Se le resistenze R_1 ed R_2 di fig. 14.4 sono dello stesso valore, il ponte di misura è in equilibrio, ossia non vi è alcuna tensione tra i punti *a* e *b* quando la reattanza capacitativa dei due condensatori C_c e C_x è la stessa. In queste condizioni la capacità del condensatore incognito è la stessa di quella del condensatore campione. La condizione di equilibrio del ponte è indicata dall'assenza della nota acustica nella cuffia.

Qualora, invece, la capacità del condensatore incognito sia diversa da quella del condensatore campione, è necessario che anche il valore delle due resistenze R_1 ed R_2 sia diverso.

Se, ad esempio, il silenzio in cuffia è ottenuto quando il valore di R_1 è il doppio di quello di R_2, per es., quando R_1 è di 10 000 ohm ed R_2 è di 5000 ohm, la reattanza capacitativa del condensatore campione C_c è doppia di quella del condensatore incognito C_x. Se la capacità del condensatore campione è di 10 000 pF, quella del condensatore incognito è di 20 000 picofarad.

Ciò vale per qualsiasi RAPPORTO tra le due resistenze ed i due condensatori; la condizione di equilibrio è ottenuta quando si verifica la proporzione seguente:

$$\frac{\text{Resistenza di } R_1}{\text{Resistenza di } R_2} = \frac{\text{Reattanza di } C_c}{\text{Reattanza di } C_x}.$$

Poichè il valore di reattanza è *inversamente proporzionale* a quello di capacità, si verifica la proporzione seguente:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\text{Capacità incognita}}{\text{Capacità campione}}$$

per cui la capacità incognita è data da:

$$\text{Capacità incognita} = \frac{R_1}{R_2} \times \text{Capacità campione}.$$

Se, come nell'esempio fatto, R_1 è di 10 000 ohm ed R_2 è di 5000 ohm ed il condensatore campione è di 10 000 picofarad, il valore della capacità incognita è dato da:

$$C_x = \frac{R_1}{R_2} \times C_c = \frac{10\,000}{5000} \times 10\,000 = 2 \times 10\,000 =$$
$$= 20\,000 \text{ picofarad.}$$

Le resistenze sono inversamente proporzionali alle capacità; ciò avviene per il fatto che la reattanza capacitativa è inversamente proporzionale alla capacità.

La *frequenza* della tensione alternata applicata al ponte non ha importanza; è indifferente che la frequenza sia quella della rete-luce, di 50 hertz o quella di una qualsiasi tensione alternativa prodotta con un oscillatore BF.

La grande maggioranza dei capacimetri a ponte funziona con tensione alternativa alla frequenza di 1000 hertz.

In pratica non si sostituiscono le due resistenze fisse ma si impiega una *resistenza variabile* come detto in seguito.

Tipi di capacimetri a ponte.

I *capacimetri a ponte* possono venir realizzati in più modi diversi, per cui esiste una notevole varietà di tali strumenti. Essi variano soprattutto per l'*indicatore di zero* (null indicator), ossia nel dispositivo usato per indicare l'equilibrio del ponte. L'indicatore di zero viene anche detto *indicatore di equilibrio*.

La maggior parte dei capacimetri a ponte non consente la misura dei condensatori elettrolitici, ciò per evitare complicazioni costruttive, ed anche per il fatto che la tolleranza di tali condensatori va da — 30 a + 70 %.

Spesso i capacimetri di maggior precisione consentono la determinazione del *fattore di potenza*, e con ciò l'indicazione delle *perdite complessive* del condensatore in esame.

Capacimetri a ponte a più portate.

I *capacimetri a ponte a più portate*, sono provvisti di tre o più condensatori di capacità ben nota, inseribili uno per volta mediante un commutatore.

Generalmente le capacità sono multiple di 10 allo scopo di facilitare la lettura e la taratura della scala.

Per ottenere le misure di un esteso campo di capacità, ad es. da 10 pF a 100 pF sono indispensabili capacimetri a ponte a più portate; con una sola portata e quindi con un solo condensatore campione è possibile la misura di capacità minima corrispondente alla decima parte di quella campione, e capacità massima dieci volte maggiore di quella campione. Ad es., se la capacità campione è di 10 000 pF, è possibile la misura di tutte le capacità comprese tra 10 000 : 10 = 1000 pF e 10 000 × 10 = 100 000 pF.

Per poter estendere il campo di misura, e portarlo ad es. da 10 pF a 1 μF, sono necessari tre condensatori campione, uno da 1000 pF, uno da 10 000 pF ed uno da 0,1 μF. Le portate risultano in tal modo le seguenti:

Capacità campione	*Campo di misura*
1000 pF	da 100 pF a 10 000 pF
10 000 pF	da 1000 pF a 100 000 pF
0,1 μF	da 10 000 pF a 1 μF

Un capacimetro di questo tipo può avere la resistenza variabile provvista di scala graduata in rapporti, come detto precedentemente. In tal caso la scala risulta graduata da 0,1 a 10. Per ottenere la lettura occorre moltiplicare il valore della capacità campione inserita, per il rapporto indicato sulla scala.

Se, ad es., la portata inserita è di 10 000 pF, e se l'azzeramento del ponte è ottenuto quando l'indice della scala segna il rapporto 0,4, la capacità del condensatore incognito è di 10 000 × 0,4 = 4000 picofarad.

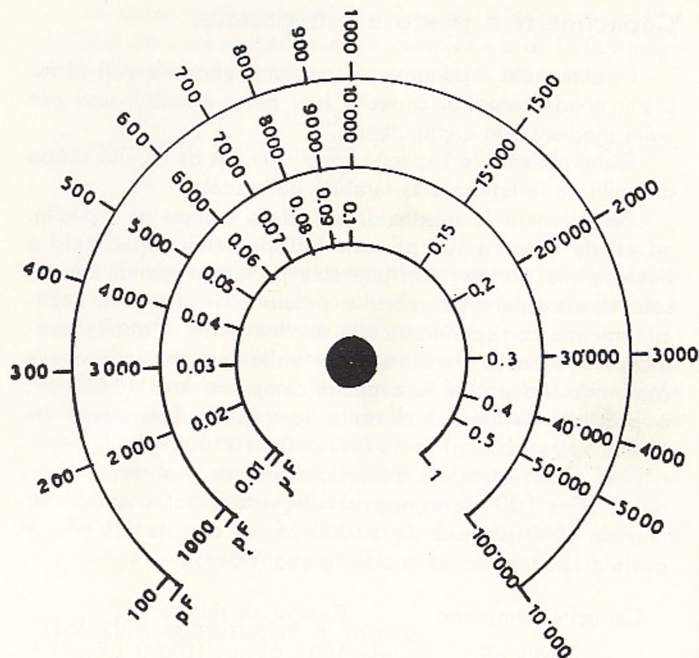


Fig. 14.5 - Scala relativa a tre portate di capacità.

Il capacimetro può anche essere del tipo a lettura diretta ed indicare immediatamente le capacità del condensatore incognito. In tal caso la scala anzichè indicare i rapporti indica la capacità corrispondente. Qualora, come nell'esempio fatto, vi siano tre condensatori campione, l'indicazione della scala può riferirsi ad uno solo di essi, ad es. quello di 10 000 pF; le altre due letture sono ottenute dividendo o moltiplicando per 10 la capacità indicata dalla scala. L'indicazione della scala può riferirsi anche a ciascuna delle tre portate, in tal caso sul quadrante sono segnate tre scale come

indicato dalla fig. 14.5. Le tre scale sono identiche, e variano solo per uno zero in più od in meno.

Il valore delle due resistenze varia a seconda del valore della resistenza variabile. In pratica è opportuno che il valore delle due resistenze fisse corrisponda ad 1/9 del valore della resistenza variabile.

Supponendo che il valore della resistenza variabile sia di 10 000 ohm, quello delle due resistenze fisse risulta di 1110 ohm ciascuna. Tale valore non è però critico.

Esempio di semplice capacimetro a ponte.

Lo schema è quello di fig. 14.6. Consiste di tre parti distinte:

a) il multivibratore;
b) il ponte a resistenza-capacità;
c) l'indicatore di equilibrio.

A prima vista, il ponte non si scorge. Il principio è però quello basilare di fig. 14.4. Il condensatore C_e di tale figura, è sostituito dai quattro condensatori campione C_3, C_4, C_5 e C_6. Il condensatore C_x, quello da misurare, è lo stesso.

Le due resistenze R_1 e R_2 di fig. 14.4 sono rappresentate dai due tratti della resistenza variabile RV dello schema. È tale resistenza che consente la messa in equilibrio del ponte e che indica il valore del condensatore in esame. La sua manopola esterna è provvista di un indice che si sposta lungo tutta la lunghezza della scala graduata in rapporti.

La scala è visibile in fig. 14.7. Inizia da 0 e finisce all'infinito. La graduazione utile va da 10 a 1000. Il centro scala è a 100. È simile alla scala a tre graduazioni di fig. 14.5. Poichè è sufficiente moltiplicare le letture per ottenere la misura, è stata disegnata una scala con una sola graduazione. Le altre due graduazioni, oltre ad essere superflue, avrebbero costretto ad usare un pannello di dimensioni maggiori.

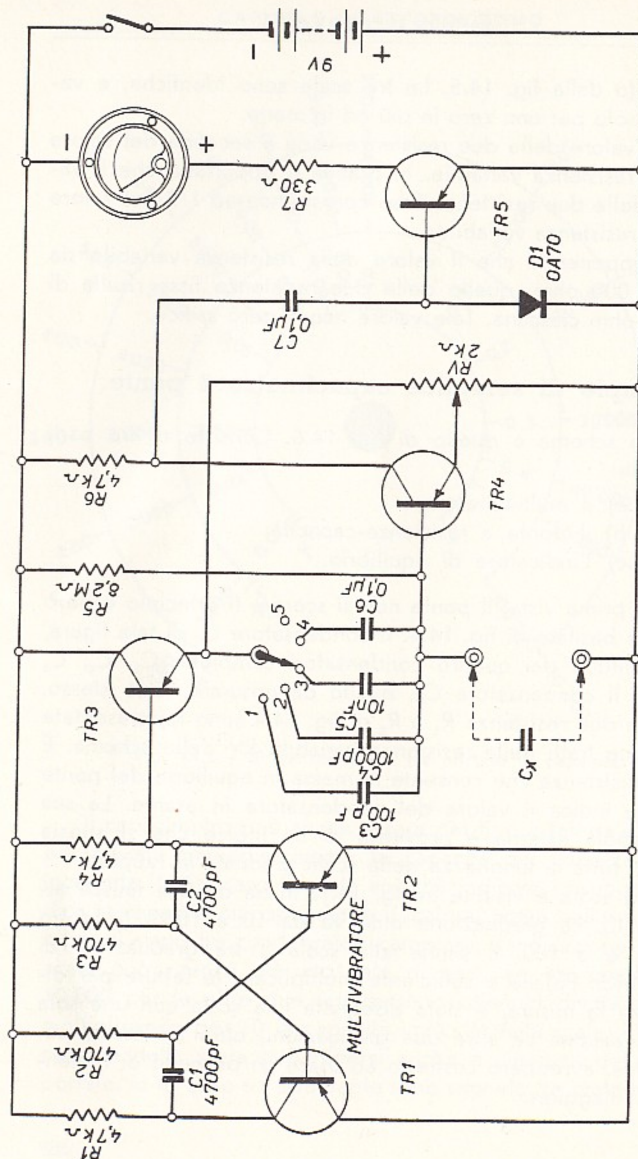


Fig. 14.6 - Schema di capacimetro a ponte.

Le quattro capacità campione sono le solite, ossia:

C_3 . . .	100 pF	C_5 . . .	10 nF
C_4 . . .	1000 pF	C_6 . . .	0,1 µF

Il capacimetro è provvisto di un commutatore ad una sola via ed a quattro posizioni, più una senza connessione.

L'indicatore di equilibrio consiste di un milliamperometro poco costoso, di sensibilità qualsiasi. Bene adatto è un milliamperometro da 5 o da 10 mA f.s. Non fornisce indicazione di misura, ma solo l'indicazione di zero.

È l'indice della manopola di RV che fornisce l'indicazione di misura, e nello stesso tempo di mettere l'indice dello strumento a zero. È per questa ragione che è indicata con il termine « azzeramento », segnato sul pannello.

Il milliamperometro non è direttamente inserito tra i due rami del ponte. È preceduto dai transistor TR_4 e TR_5. Il diodo D_1 elimina una delle semionde della tensione BF fornita dal multivibratore. È un OA70 o altro equivalente.

La tensione ondulante che ne risulta è a frequenza tale da non poter far vibrare l'indice dello strumento. Inoltre,

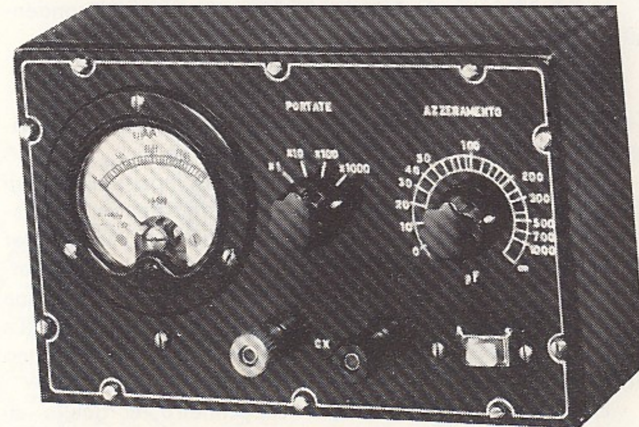


Fig. 14.7 - Aspetto del capacimetro.

lo strumento ha una certa inerzia, per cui la tensione ondulante si comporta come se fosse continua. Il transistor TR_5 provvede ad amplificarla. Lo strumento si trova inserito nel suo circuito di collettore.

Il multivibratore consiste dei due soliti transistor, la base di uno dei quali è collegata con il collettore dell'altro. Data tale disposizione circuitale, la coppia di transistor oscilla. La frequenza d'oscillazione è determinata dal valore dei condensatori C_1 e C_2, nonchè da quello delle resistenze R_1, R_2, R_3 e R_4.

La frequenza è una sola. È quella conseguente alla capacità di 4700 pF dei due condensatori. Per un semplice capacimetro come questo, una sola frequenza può essere sufficiente. È stata scelta quella adatta tanto per le capacità piccole quanto per quelle grandi.

È senz'altro possibile aggiungere alla coppia di condensatori da 4700 picofarad, anche le altre tre coppie, quelle a 470 pF, a 47 nanofarad ed a 0,47 microfarad, come nello schema di fig. 14.1. Risulta però necessario un commutatore a tre sezioni. Tutto il capacimetro diventa più voluminoso.

In fig. 14.7 alla manopola del commutatore dei condensatori campione corrispondono le indicazioni:

×1 ×10 ×100 ×1000.

Consentono di moltiplicare l'indicazione fornita, in corrispondenza del condensatore campione inserito.

I transistor possono essere di qualsiasi tipo per segnali deboli a bassa frequenza. I due transistor del multivibratore, TR_1 e TR_2, devono essere dello stesso tipo. Il transistor TR_4 provvede all'amplificazione quindi è opportuno sia adatto a tale scopo. Infine, il transistor TR_5 è percorso da una corrente relativamente intensa. Sono tutti di tipo PNP. La resistenza RV è il componente più importante. È opportuno sia a filo.

Lo schema costruttivo del capacimetro è quello di fig. 14.8.

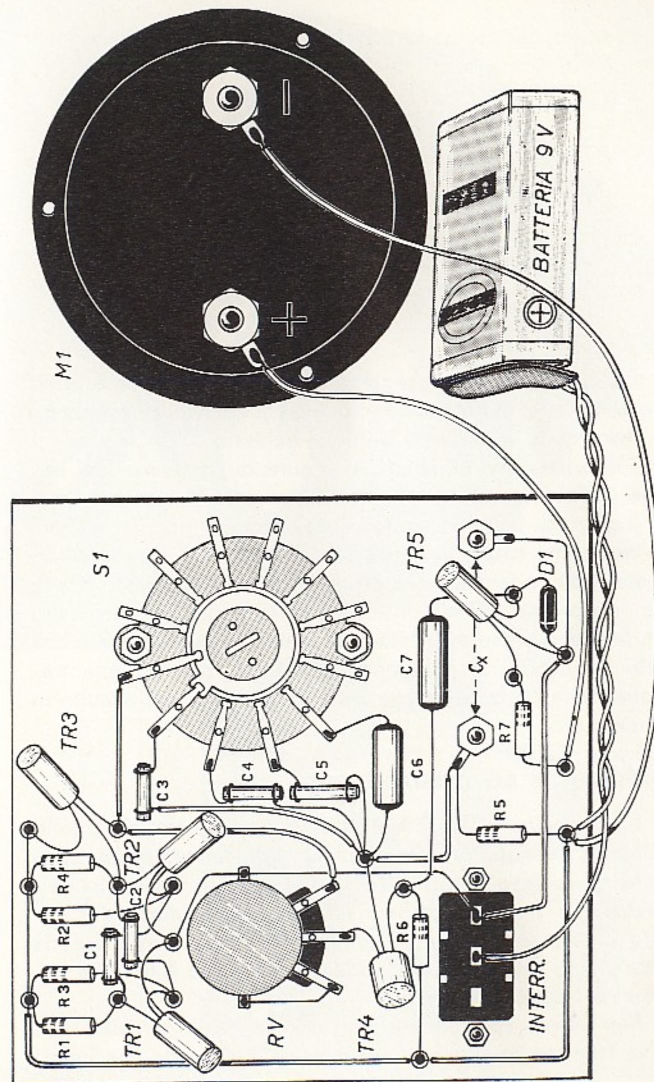


Fig. 14.8 - Schema costruttivo del capacimetro a transistor.

CAPITOLO QUINDICESIMO

MISURE DI FREQUENZA E DI LUNGHEZZA D'ONDA

L'ondametro.

Per la misura di lunghezza d'onda o di frequenza è usato uno strumento detto *ondametro o frequenzimetro*, realizzato in vario modo a seconda dell'uso richiesto.

I due usi generali sono: *A*) misure di frequenza del circuito sede di corrente ad alta frequenza; *B*) misure su circuito privo di corrente ad alta frequenza.

Nel primo caso si adoperano *ondametri ad assorbimento*; nel secondo *ondametri ad eterodina*. In quelli ad assorbimento non vi è produzione di tensione ad alta frequenza, in quanto tale tensione viene assorbita dal circuito in esame. Gli ondametri ad eterodina generano invece tensione ad alta frequenza, una parte della quale viene assorbita dal circuito in esame.

Ondametro ad assorbimento.

L'ondametro ad assorbimento va accoppiato al circuito risonante, sede di corrente oscillante ad alta frequenza, della quale ne preleva una piccola parte. Quando il circuito dell'ondametro risulta accordato alla stessa frequenza del circuito in esame, una parte dell'energia AF si trasferisce da quest'ultimo al circuito dell'ondametro. Da ciò il termine ondametro ad assorbimento.

Può essere costituito semplicemente da un circuito risonante formato da un condensatore variabile e da una indut-

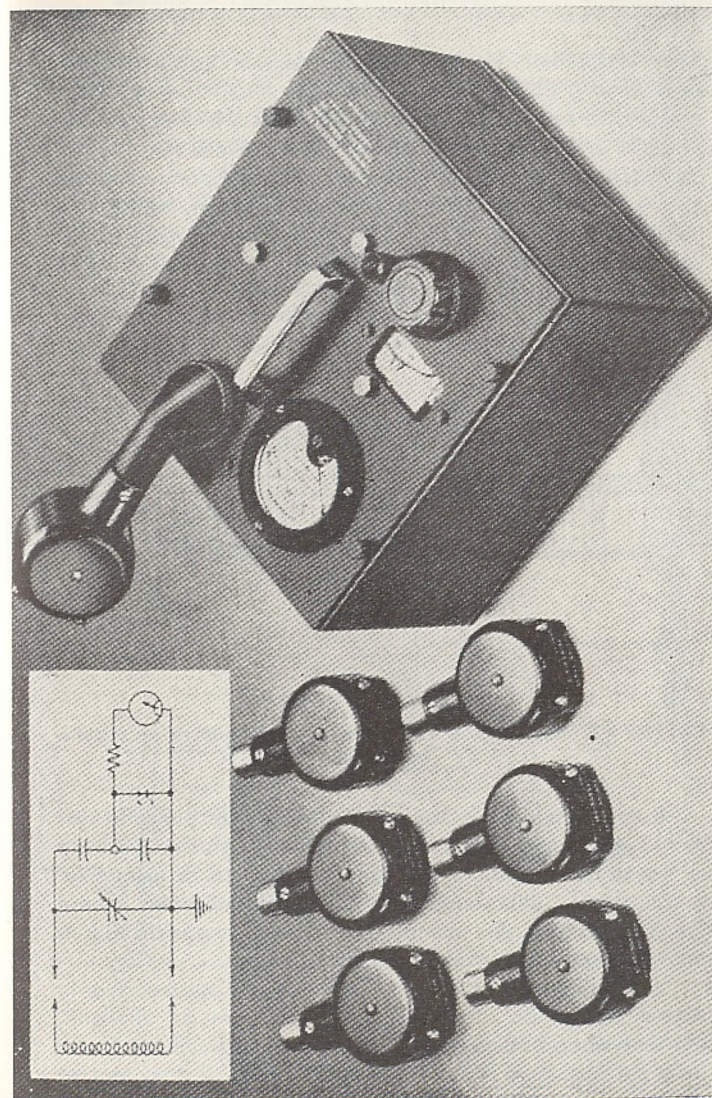


Fig. 15.1 – Tipico esempio di ondametro di precisione e bobine intercambiabili.

tanza in parallelo. Un esempio di ondametro ad assorbimento di questo tipo è illustrato dalla fig. 15.2. Consiste di un condensatore variabile di 150 pF, ad aria e a lamine spaziate, al quale è direttamente fissata la bobina d'induttanza. Se la stessa consiste di 80 spire avvolte su un supporto di 3 cm di diametro, l'ondametro può venir accordato entro una banda di frequenze da 1 a 3 megahertz; se consiste di 35 spire, la banda va da 3 a 8 megahertz, e se consiste di 9 spire, va da 8 a 24 megahertz.

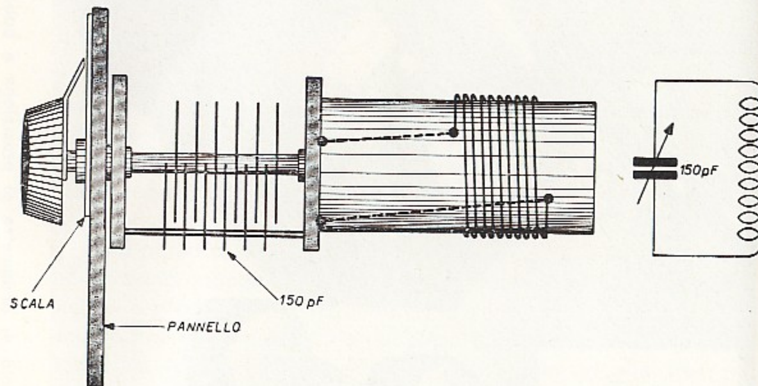


Fig. 15.2 - L'ondametro ad assorbimento è costituito da un circuito accordato.

Il condensatore variabile è montato su un pannello isolante, sul quale è fissato il quadrante di sintonia, graduato in frequenza. L'asse del variabile è provvisto di manopola. Il pannello è utile anche per consentire di poter tenere l'ondametro con una mano, per poterlo avvicinare più o meno all'apparecchiatura in esame.

L'ondametro va posto in vicinanza dell'apparecchio in esame, ad es. del ricevitore per onde corte da dilettanti, con la propria bobina di seguito a quella del circuito accordato del ricevitore, a breve distanza da essa. Il ricevitore va

quindi accordato su una frequenza qualsiasi, mentre il suo controllo di reazione va regolato sino ad ottenere l'oscillazione. Regolando il condensatore variabile dell'ondametro, quando l'ondametro è accordato sulla stessa frequenza del ricevitore, l'oscillazione cessa. È possibile, in questo modo, provvedere alla taratura dell'ondametro, utilizzando emittenti a frequenza ben nota, con ascolto del fischio d'oscillazione in cuffia o in altoparlante.

Si può ottenere l'indicazione visiva del punto di risonanza inserendo un milliamperometro nel circuito di placca della valvola del ricevitore, come indicato dalla fig. 15.3.

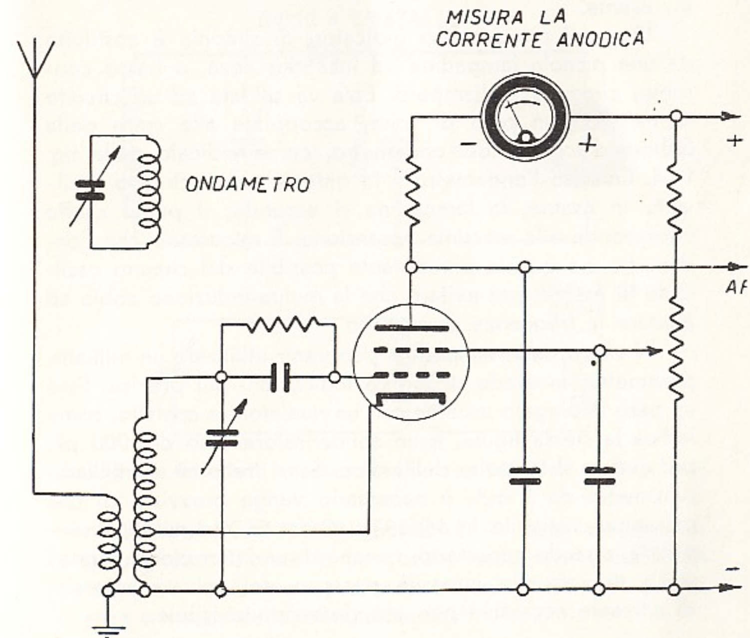


Fig. 15.3 - Il punto di risonanza è indicato dal milliamperometro inserito nel circuito di placca.

La reazione del ricevitore va quindi regolata sino all'oscillazione, e l'ondametro accordato. Il punto di sintonia esatto è indicato dal massimo spostamento dell'indice del milliamperometro, dato che in questo punto vi è assorbimento di energia da parte dell'ondametro.

Ondametro con indicatore di risonanza.

L'ondametro può essere provvisto di un proprio indicatore di risonanza, in grado di indicare quando il circuito accordato dell'ondametro stesso è in sintonia con quello in esame.

Uno dei più semplici indicatori di sintonia è costituito da una piccola lampadina ad incandescenza, a basso consumo, circa 60 milliampere. Essa va saldata ad un circuito formato da un paio di spire, accoppiate alle spire della bobina d'accordo dell'ondametro, come indicato dalla fig. 15.4. Quando l'ondametro è in sintonia con il circuito oscillante in esame, la lampadina si accende; il punto esatto corrisponde alla massima accensione. È necessario che l'ondametro sia quanto più distante possibile dal circuito oscillante in esame, per evitare che la mutua-induzione abbia ad alterare la frequenza di accordo.

Al posto della lampadina può venir utilizzato un milliamperometro, in grado di fornire indicazioni più precise. Esso va però impiegato insieme con un rivelatore a cristallo, come indica la stessa figura, e un condensatore fisso di 1000 pF, per evitare il tremolio dell'indice. Se si tratta di un milliamperometro da 1 mA, è necessario venga provvisto di una resistenza variabile in serie, in modo da diminuire la sensibilità, quando necessario, nonchè di un interruttore. Segnali radio di notevole intensità possono determinare intensità di corrente eccessive per uno strumento sensibile.

FORMULA DELLA FREQUENZA. — Note la capacità e l'induttanza di un circuito accordato, è possibile determinare

la frequenza di risonanza con la formula seguente:

$$\text{Frequenza in kHz} = 159\,155 : \sqrt{\text{Induttanza in }\mu\text{H} \times \text{Capacità in pF}}.$$

FORMULA DELLA LUNGHEZZA D'ONDA. — Note la capacità e l'induttanza di un circuito accordato, è possibile determinarne la lunghezza d'onda con la formula seguente:

$$\text{Lunghezza d'onda in m} = 1\,885 \sqrt{\text{Induttanza in }\mu\text{H} \times \text{Capacità in }\mu\text{F}}.$$

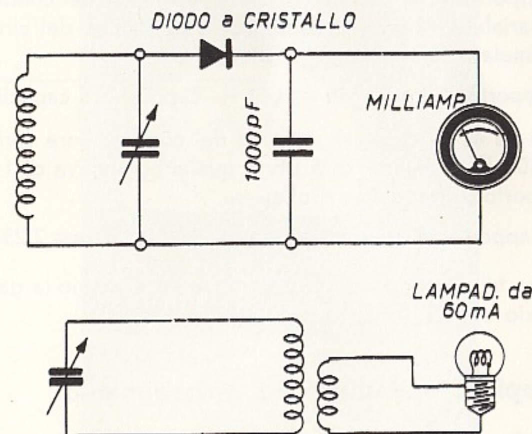


Fig. 15.4 - Ondametri ad assorbimento con indicatori di risonanza.

FORMULA PER LA CONVERSIONE. — Note la frequenza o la lunghezza d'onda di un circuito accordato è possibile determinare la lunghezza d'onda o rispettivamente la frequenza a mezzo delle formule seguenti:

Lunghezza d'onda in m = 300 000 : Frequenza in kHz;
Frequenza in kHz = 300 000 : Lunghezza d'onda in m.

SCALA DELL'ONDAMETRO. — Dalle formule riportate risulta che per variare la frequenza di accordo è sufficiente variare la capacità del condensatore; il campo di frequenza coperto è determinato dal rapporto della capacità massima e da quella minima del condensatore variabile, con ampia scala graduata direttamente in frequenza o in lunghezza d'onda. Nel caso di graduazione centesimale o sessagesimale l'ondametro è provvisto di curva di taratura, una per ogni bobina e campo di misura.

ESTENSIONE DELLE GAMME DI FREQUENZA. — È data dal rapporto tra la capacità massima e minima del condensatore variabile, nonchè dalla capacità aggiuntiva del circuito. La formula è la seguente:

$$\text{Rapporto di frequenza} = \sqrt{1 + \text{Rapporto di capacità}}.$$

Se ad es. la capacità massima del condensatore variabile è di 80 pF, la minima di 5 pF, e quella aggiuntiva di 15 pF, il rapporto di frequenza risulta:

$$\text{Rapporto di frequenza} = \sqrt{1 + (80 : 20)} = 2{,}23.$$

Con tale rapporto di frequenza, se ad esempio la gamma ha inizio a 1 000 kHz, ha fine a 2 230 kHz.

Esempi di ondametri ad assorbimento.

La fig. 15.5 illustra l'aspetto esterno di un tipico *ondametro ad assorbimento*, con rivelatore a cristallo di germanio e con milliamperometro da 1 mA f.s. quale indicatore di risonanza; consente misure nella gamma da 3,5 MHz a 30 MHz. Tale gamma è suddivisa in quattro bande per le quali sono usate quattro bobine avvolte su due soli supporti. Un commutatore ad una via e due posizioni inserisce l'una o l'altra delle due bobine.

Lo schema è riportato dalla fig. 15.6. Il condensatore variabile è di 50 pF. Le bobine vanno avvolte su supporto di

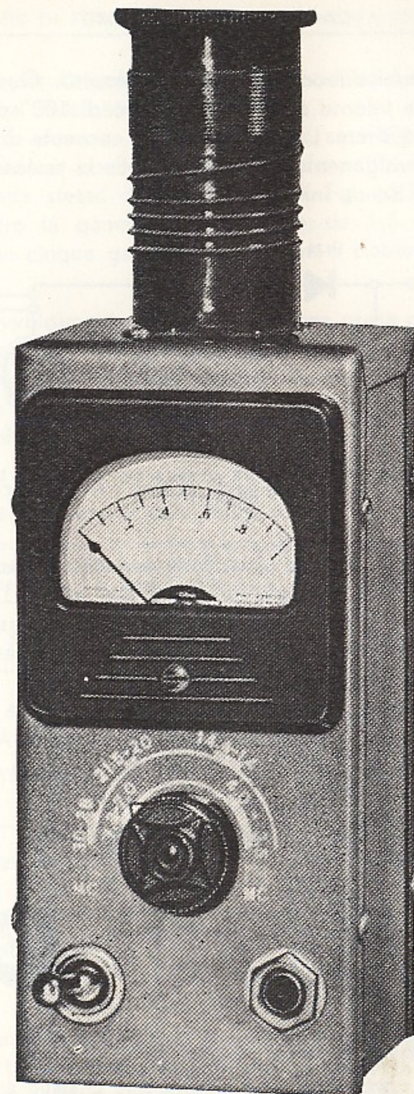


Fig. 15.5 - Aspetto esterno di ondametro ad assorbimento.

tipo intercambiabile di 30 mm di diametro. Quella adatta per la banda intorno ai 4 MHz consiste di 100 spire di filo smaltato da 0,3 mm. La presa al centro consente di escludere metà dell'avvolgimento; in tal modo con le restanti 50 spire è coperta la banda intorno ai 7 MHz.

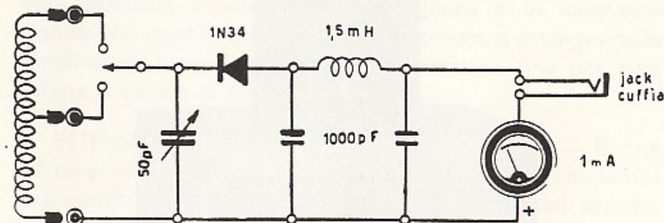


Fig. 15.6 - Schema di ondametro ad assorbimento a due bande commutabili.

Per la banda intorno ai 14 MHz è necessaria una bobina di 20 spire di filo smaltato da 1 mm spaziate di 1 mm. Anche questo avvolgimento è provvisto di una presa ad otto spire dal lato massa. Tali otto spire sono sufficienti per la quarta banda, intorno ai 28 MHz.

Un'impedenza di alta frequenza da 1,5 mH e due condensatori di 1 000 pF, impediscono che tracce di AF passino allo strumento di misura. Una presa a jak consente di inserire

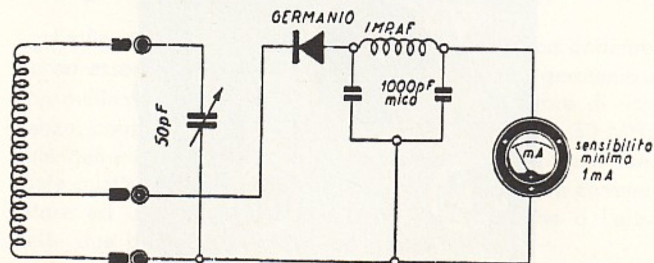


Fig. 15.7 - Ondametro ad assorbimento con cristallo di germanio.

una cuffia per l'ascolto dei segnali modulati, in modo da poter usare l'ondametro come monitore.

Un altro esempio di ondametro ad assorbimento simile al precedente è quello di fig. 15.7. L'aspetto esterno può essere quello stesso dell'ondametro di fig. 15.5. Consente misure entro la gamma di frequenze da 1,5 a 40 MHz suddivise in cinque gamme minori; con 5 bobine intercambiabili.

Ogni avvolgimento è provvisto di una presa per adattare l'impedenza del cristallo a quella del circuito accordato. Le bobine sono avvolte su sei supporti del diametro di 30 mm e provviste di zoccolo a tre piedini. I dati per le bobine sono riassunti nella seguente tabella:

DATI COSTRUTTIVI DELLE BOBINE PER L'ONDAMETRO AD ASSORBIMENTO CON RIVELATORE A CRISTALLO

Gamma di frequenza	Numero di spire	Diametro filo	Note
da 1,5 a 3 MHz	58	0,3 mm	Presa alla 18ª spira dal lato massa, supporto 30 mm, spire strette.
da 3 a 6 MHz	29	0,8 mm	Presa alla 10ª spira dal lato massa, supporto 30 mm, spire strette.
da 6 a 12 MHz	15	0,8 mm	Presa alla 6ª spire dal lato massa, supporto 30 mm, lunghezza avvolgimento 30 mm.
da 11 a 22 MHz	8	0,8 mm	Presa alla 4ª spira dal lato massa, supporto 30 mm, lunghezza avvolgimento 30 mm.
da 20 a 40 MHz	4	0,8 mm	Presa alla 2ª spira dal lato massa, supporto 30 mm, lunghezza avvolgimento 30 mm.

Lo strumento indicatore di risonanza è un milliamperometro da 1 mA. Esso consente misure di sufficiente precisione. Qualora fosse richiesta maggior precisione è necessa-

rio uno strumento più sensibile, ad es. un microamperometro da 100 µA, essendo possibile in tal caso effettuare accoppiamenti più laschi con il circuito in esame.

La taratura degli ondametri descritti va effettuata con l'ausilio di un generatore di segnali campione o, in mancanza, con un apparecchio radio accordato su un certo numero di emittenti a frequenza ben nota e sicuramente identificabili.

Ondametro eterodina. Il grid dip meter.

L'*ondametro eterodina* consiste del solito circuito accordato, collegato ad una valvola oscillatrice. Mentre gli ondametri ad assorbimento precedentemente descritti prelevano energia AF dal circuito in esame, quello ad eterodina provvede a trasferire energia AF al circuito in esame, ossia anzichè assorbire trasmette energia AF.

L'oscillatore dell'ondametro è un normale circuito in reazione con valvola triodo, senza modulazione. Viene detto *eterodina*. È provvisto di una adeguata manopola di sintonia con scala graduata direttamente in frequenza, o con graduazione centesimale, nel qual caso l'ondametro è accompagnato dal grafico di taratura. A differenza dell'ondametro ad assorbimento quello ad eterodina consente misure di frequenza più precise. Vi sono diverse categorie di ondametri ad eterodina. Il tipo più noto, e generalmente usato, è l'ondametro a *falla di griglia*, comunemente denominato *grid dip meter*. Un altro tipo di ondametro ad eterodina è quello a *dip di placca*, più noto con il termine *plate dip meter*.

Il grid dip meter è provvisto di un microamperometro della portata da 50 µA sino a 1 000 µA inserito nel circuito di griglia del triodo oscillatore. Viene generalmente usato un triodo data la sua elevata corrente di griglia.

Accoppiando il grid dip meter al circuito in esame, non appena i due circuiti si trovano accordati alla stessa frequenza, quello in esame assorbe una parte dell'energia AF

generata dall'eterodina; ciò provoca una diminuzione di ampiezza del segnale nel circuito di griglia del triodo oscillatore e conseguentemente diminuzione di corrente di griglia. Questa è rilevata da una brusca deflessione dell'indice del microamperometro. È in uso il termine dip per indicare tale repentina caduta dell'indice.

MISURE DI FREQUENZA CON IL GRID DIP METER

La misura di frequenza di un qualsiasi circuito accordato può venir effettuata con il grid dip meter in due modi diversi; *ad assorbimento*, qualora la misura venga fatta su circuito accordato non percorso da corrente ad alta frequenza, *a battimenti* qualora il circuito sia percorso da corrente oscillante.

MISURA DI FREQUENZA AD ASSORBIMENTO. — Con tale sistema l'ondametro va accoppiato al circuito la cui frequenza di risonanza è da misurare, ossia la sua bobina va avvicinata a quella del circuito in esame; va quindi regolata la manopola di sintonia sino a raggiungere la frequenza del circuito in esame, ciò che risulta evidente dal dip.

Affinchè l'indicazione risulti sufficientemente precisa, è necessario che sia ottenuta con un dip appena apprezzabile, corrispondente ad accoppiamento molto lasco.

MISURA DI FREQUENZA A BATTIMENTI. — Nel caso che il circuito in esame si trovi in regime oscillatorio si applica il sistema a battimenti, per il quale è però necessario un rivelatore con circuito accordato per l'ascolto del *beat*; può servire a tale scopo il cercatore di segnali di laboratorio, con connesso un adatto circuito oscillante.

L'ondametro va avvicinato al circuito in esame percorso da corrente ad alta frequenza; va regolata la sintonia dell'apparecchio ricevente sino a sentire ben distinto il caratteristico fruscio. Quindi va regolata accuratamente la manopola di sintonia dell'ondametro sino a sentire la nota acustica di

battimento corrispondente alla sovrapposizione delle due frequenze, quella dell'ondametro e quella del circuito in esame. La nota acustica varia di tono al variare della sintonia dell'ondametro; il tono diventa tanto più basso quanto più le due frequenze si avvicinano, per scomparire nell'istante preciso in cui si eguagliano.

MISURE DI PICCOLE CAPACITÀ CON IL GRID DIP METER

Capacità molto piccole, sotto i 10 pF, difficilmente misurabili con i capacimetri, possono venir invece misurate agevolmente con l'ausilio del grid dip meter.

Affinchè il grid dip meter possa venir usato a tale scopo, è necessario che sulla sua scala siano segnati anche i valori di capacità corrispondenti alle diverse posizioni del condensatore variabile.

Esso va anzitutto messo in funzione e accordato con un apparecchio radio, il quale riprodurrà il caratteristico soffio quando si troverà accordato alla frequenza del grid dip meter.

Il condensatore di capacità incognita va allora collegato in parallelo al condensatore variabile del grid dip meter; ciò causerà la scomparsa del soffio da parte dell'apparecchio.

La manopola di sintonia del grid dip meter va regolata sino a risentire il soffio.

La capacità del condensatore incognito è data dalla differenza tra le due letture fornite dalla scala, relative alle due posizioni del condensatore variabile.

Esempio di ondametro eterodina a dip di griglia.

Un esempio tipico di *ondametro eterodina a dip di griglia* in uso in laboratori radiotecnici e da parte di dilettanti di trasmissione, è quello di fig. 15.8.

Esso è del tipo a falla di griglia, ossia è provvisto di uno strumento indicatore inserito nel circuito di griglia della val-

vola oscillatrice. Quest'ultima può essere una qualsiasi valvola a triodo adatta per oscillare ad alta ed eventualmente ad altissima frequenza.

Come visibile nello schema, l'alimentatore è separato ed è collegato tramite un cordone con spina a tre piedini. Ciò è opportuno per il fatto che il *grid dip meter* va tenuto in mano per poter essere avvicinato agevolmente al circuito in esame, per cui deve essere leggero e compatto.

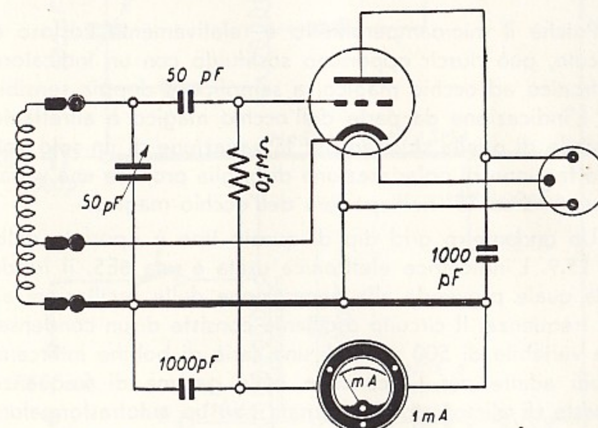


Fig. 15.8 - Ondametro ad eterodina (grid dip meter).

Lo strumento indicatore può essere un milliamperometro da 1 mA. È però meglio adatto un microamperometro, dato che in tal caso sono apprezzabili variazioni di corrente molto più piccole e conseguentemente sono possibili accoppiamenti più laschi e misure più precise.

La completa estensione di gamma del *grid dip meter* va da 1,5 a 40 MHz ed è ottenuta con una serie di cinque bobine, i dati costruttivi delle quali sono quelli stessi dell'ondametro ad assorbimento con rivelatore a cristallo descritto

nelle pagine precedenti. Il condensatore variabile è di soli 50 pF onde consentire l'accurato accordo anche alle frequenze più elevate. È provvisto come al solito di una adeguata manopola con graduazione centesimale da riferire a cinque grafici di taratura.

Semplice ondametro eterodina con occhio magico.

Poichè il microamperometro è relativamente costoso e delicato, può riuscir opportuno sostituirlo con un indicatore elettronico ad occhio magico, a semplice o doppia sensibilità. L'indicazione da parte dell'occhio magico è altrettanto sensibile di quella strumentale; la variazione di un solo volt della tensione di polarizzazione di griglia provoca una variazione di circa 15° nell'apertura dell'occhio magico.

Un ondametro grid dip di questo tipo è riportato dalla fig. 15.9. L'indicatrice elettronica usata è una 6E5, il triodo della quale provvede alla generazione delle oscillazioni ad alta frequenza. Il circuito oscillante consiste di un condensatore variabile di 500 pF e di una serie di bobine intercambiabili adatte per l'escursione nella gamma di frequenze previste. È alimentato in alternata con un autotrasformatore ed un rettificatore a selenio.

Le bobine vanno approntate su supporto ceramico ad alette, del diametro di circa 20 mm; l'avvolgimento va provvisto di una presa centrale. Il numero delle spire delle bobine va adeguato a quello delle bobine degli apparecchi radio, dei trasmettitori o comunque dei circuiti AF sui quali si prevede di dover effettuare le misure. La taratura va fatta tramite un ricevitore radio e di alcune stazioni trasmittenti ben identificate.

Il dip luminoso fornito dall'occhio magico equivale a quello del milliamperometro. È necessario che la misura venga effettuata con il minor accoppiamento possibile tra i due

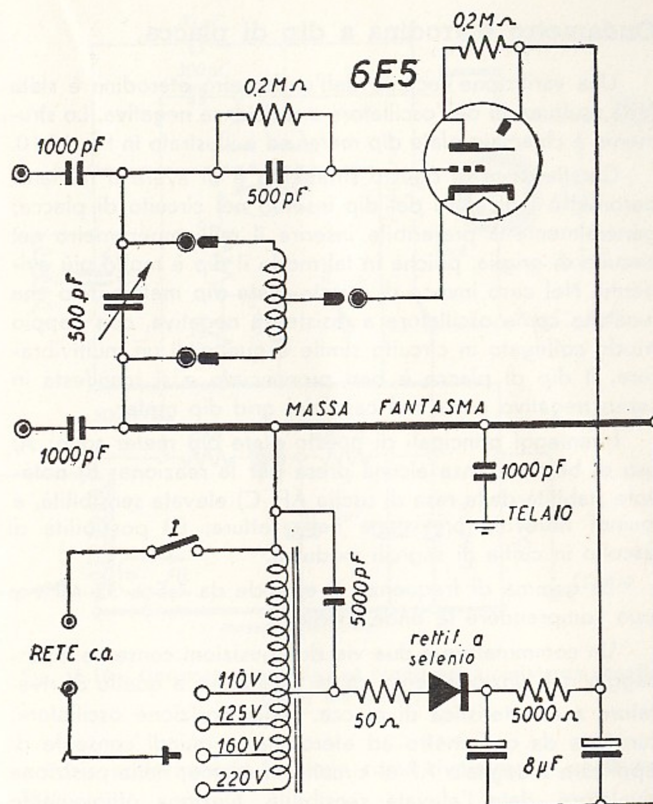


Fig. 15.9 - Ondametro eterodina con indicatore ad occhio magico.

circuiti, per non introdurre errori dovuti alla mutua induttanza e ad effetti capacitativi. È necessario valersi della minima variazione dell'angolo d'ombra sufficiente per stabilire con accuratezza la condizione di risonanza.

Ondametro eterodina a dip di placca.

Una variazione recente dell'ondametro eterodina è stata fatta usufruendo dell'oscillatore a resistenza negativa. Lo strumento è chiamato *plate dip meter* ed è illustrato in fig. 15.10.

Caratteristica di questo strumento è di avere il milliamperometro indicatore del dip inserito nel circuito di placca; generalmente è preferibile inserire il milliamperometro nel circuito di griglia, poichè in tal modo il dip è molto più evidente. Nel caso invece di questo *plate dip meter*, dato che funziona come oscillatore a resistenza negativa, con doppio triodo collegato in circuito simile a quello di un multivibratore, il dip di placca è ben pronunciato e si manifesta in senso *negativo* come nel caso del grid dip meter.

I vantaggi principali di questo *plate dip meter* sono: *A*) uso di bobine senza alcuna presa per la reazione; *B*) notevole stabilità della resa di uscita AF; *C*) elevata sensibilità, e quindi notevole precisione nella lettura; *D*) possibilità di ascolto in cuffia di segnali modulati.

La gamma di frequenza si estende da 1,5 a 33 MHz e può comprendere le onde medie.

Un commutatore a due vie due posizioni consente il passaggio dal funzionamento come oscillatore a quello di rivelatore a caratteristica di placca. Nella posizione oscillatore, funziona da ondametro ad eterodina, e quindi consente di applicare il segnale AF al circuito in esame; nella posizione rivelatore, data l'elevata sensibilità, funziona ottimamente quale analizzatore ad AF.

Una pila a secco di 1,5 V è inserita nel circuito del milliamperometro; in parallelo ad essa vi è un potenziometro di 500 ohm, che consente di portare l'indice a zero o a fondo scala senza dover ridurre la sensibilità dell'apparecchio. In quest'ultima posizione va regolato l'indice del milliamperometro quando l'apparecchio viene fatto funzionare da ondametro eterodina, cioè in posizione OSC. Va invece regolato

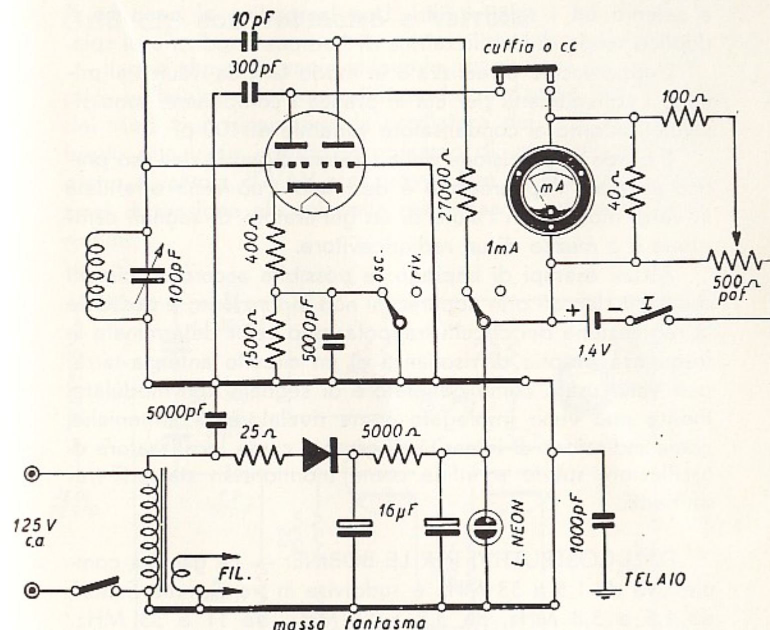


Fig. 15.10 – Ondametro eterodina ad oscillatore a resistenza negativa (plate dip meter).

a inizio scala quando funziona come rivelatore in posizione RIV.

La sensibilità dell'apparecchio è tale che nell'istante del dip l'indice dello strumento scatta facilmente da un estremo all'altro del quadrante per cui è aggiunta una resistenza di 40 ohm in parallelo al milliamperometro per portare la sensibilità a circa 3 mA.

L'alimentatore è separato dalla restante parte dell'apparecchio, ed è collegato a quest'ultima mediante un cordone con spina. Comprende un autotrasformatore, un rettificatore

a selenio ed i relativi filtri. Una lampadina al neon ha il duplice scopo di stabilizzatrice di tensione anodica e di spia.

L'apparecchio è realizzato in modo tale da ridurre al minimo i collegamenti per cui in pratica i componenti sono sistemati intorno al condensatore variabile di 100 pF.

Il grado di precisione della taratura dipende dall'uso pratico al quale l'apparecchio è destinato. Può venir effettuata in vario modo: con l'aiuto di un generatore di segnali campione o a mezzo di un radioricevitore.

Alcuni esempi di impiego: è possibile accordare circuiti oscillanti staccati o in apparecchi non in funzione; è possibile la regolazione dei circuiti trappola; può venir determinata la frequenza propria di risonanza di un circuito antenna-terra; può venir usato come generatore di segnale non modulato. Inoltre può venir impiegato come rivelatore di armoniche, come indicatore di intensità di campo, come localizzatore di oscillazioni spurie e infine come monitore in stazioni trasmittenti.

DATI COSTRUTTIVI PER LE BOBINE. — La gamma complessiva da 1,5 a 33 MHz è suddivisa in tre gamme minori, da 1,5 a 3,8 MHz, da 3,8 a 11 MHz, da 11 a 33 MHz. Sono necessarie tre bobine di tipo intercambiabile, avvolte su supporto di 25 mm di diametro con due o più piedini.

La prima bobina per la gamma da 1,5 a 3,8 MHz consiste di 22 spire di filo smaltato da 0,6 mm.

L'avvolgimento va fatto in modo da riuscire lungo 50 mm.

La seconda bobina per la gamma da 3,8 a 11 MHz consiste di 9 spire di filo smaltato da 0,8 mm.

L'avvolgimento va spaziato in modo che anche in questo caso risulti lungo 50 mm.

La terza bobina per la gamma da 11 a 33 MHz consiste di 3 spire di filo smaltato da 1,2 mm.

Anche per questa bobina la lunghezza dell'avvolgimento è di 50 mm.

Grid dip con voltmetro a valvola.

Il grid dip può venir utilmente accoppiato ad un semplice voltmetro a valvola, utilizzando un doppio triodo; uno dei triodi può funzionare da oscillatore del grid dip, l'altro triodo può venir inserito in un ramo di un ponte del voltmetro a valvola. Il VAV può provvedere a misurare le variazioni di tensione ai capi della resistenza di griglia dell'eterodina.

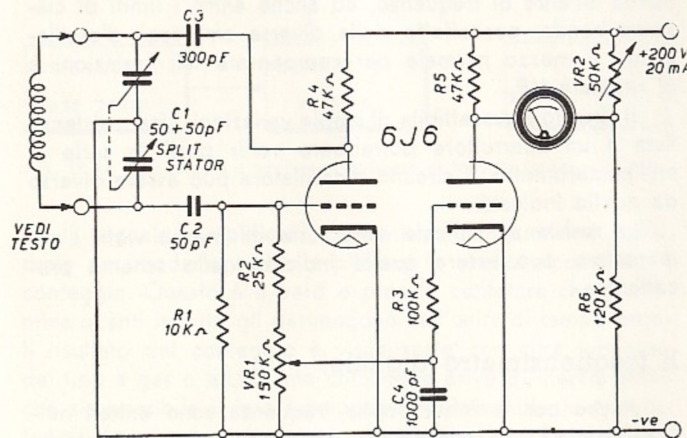


Fig. 15.11 - Schema di grid dip con voltmetro a valvola.

Un esempio di realizzazione di questo principio è quello di fig. 15.11. È indicato un doppio triodo 6J6, benchè si possa utilizzare un qualsiasi doppio triodo adatto per oscillare alle frequenze richieste. Il triodo disegnato a sinistra appartiene al grid dip, quello disegnato a destra appartiene al VAV.

È usato il circuito Colpitts, con condensatore variabile doppio, da 50 pF, del tipo split stator. La resistenza di gri-

glia R_1 è di 10 chiloohm. Le variazioni di tensione ai capi di R_1 vengono misurate dal voltmetro a valvola, alla cui entrata vengono applicate tramite la resistenza fissa R_2 e la variabile VR_1. Lo strumento è da 1 mA, ed è collegato nel circuito di placca della valvola. La messa a zero è ottenuta con la resistenza variabile VR_2. L'altra resistenza variabile, VR_1, consente di regolare l'ampiezza del segnale applicato all'entrata della valvola VAV.

La tensione ai capi di R_1 varia considerevolmente da una banda all'altra di frequenza, ed anche entro i limiti di ciascuna banda, per effetto della diversa ampiezza d'oscillazione. Il mezzo normale per compensare tali variazioni è di regolare VR_2.

Il circuito è suscettibile di ampie variazioni. Una resistenza fissa e un interruttore potrebbero venir posti in serie al milliamperometro. Il circuito d'oscillatore può essere diverso da quello indicato.

Le resistenze indicate sono tutte da mezzo watt. L'alimentatore può essere quello indicato nello schema precedente.

Il frequenzimetro digitale.

Anche per la misura della frequenza sono entrati nell'uso comune apparati digitali, con portate fino a 50 MHz, 250 MHz e 500 MHz, a seconda dell'impiego previsto. Sono apparati piuttosto elaborati, che richiedono un notevole numero di circuiti integrati logici, oppure circuiti integrati complessi a molte funzioni.

La visualizzazione della frequenza avviene a mezzo di nixie o display a segmenti, in numero variabile da 5 a 9 cifre luminose, dipendentemente dalla massima frequenza misurabile. Uno schema a blocchi di frequenzimetro digitale è tracciato in fig. 15.12.

Il segnale da esaminare, spesso molto debole, generalmente di forma sinusoidale, è inserito all'ingresso di un cir-

cuito amplificatore particolarmente progettato per ben rispondere alle esigenze di sensibilità, impedenza e frequenza del segnale in esame.

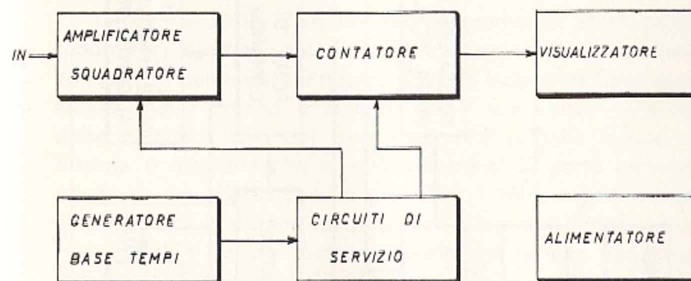


Fig. 15.12 - Schema a blocchi semplificato di frequenzimetro digitale.

Il segnale, amplificato convenientemente, viene squadrato per renderlo adatto a pilotare lo stadio successivo di conteggio. Questo è il vero e proprio contatore che determina quanti impulsi gli pervengono nell'unità di tempo base. Il risultato del conteggio è visualizzato con cifre luminose del tipo a gas o a LED, ma comunque prive di inerzia affinché sia possibile il loro funzionamento intermittente con intervalli brevissimi, tali da non essere apprezzati dal nostro occhio. In tal modo ogni variazione di valori di frequenza risulta immediatamente, ed è visualizzato solo il totale che risulta dopo ogni tempo di conteggio e non l'intera sequenza che non avrebbe significato.

La possibilità di conteggio di una certa frequenza in esame è dovuta alla base dei tempi. Questa infatti abilita l'ingresso del contatore per un tempo ben preciso e determinato, ad esempio 1 secondo.

Il numero di impulsi del segnale in esame che riescono a passare in questo intervallo di tempo, verrà letto sul visualizzatore; poniamo che sia 27 000 000: la frequenza del se-

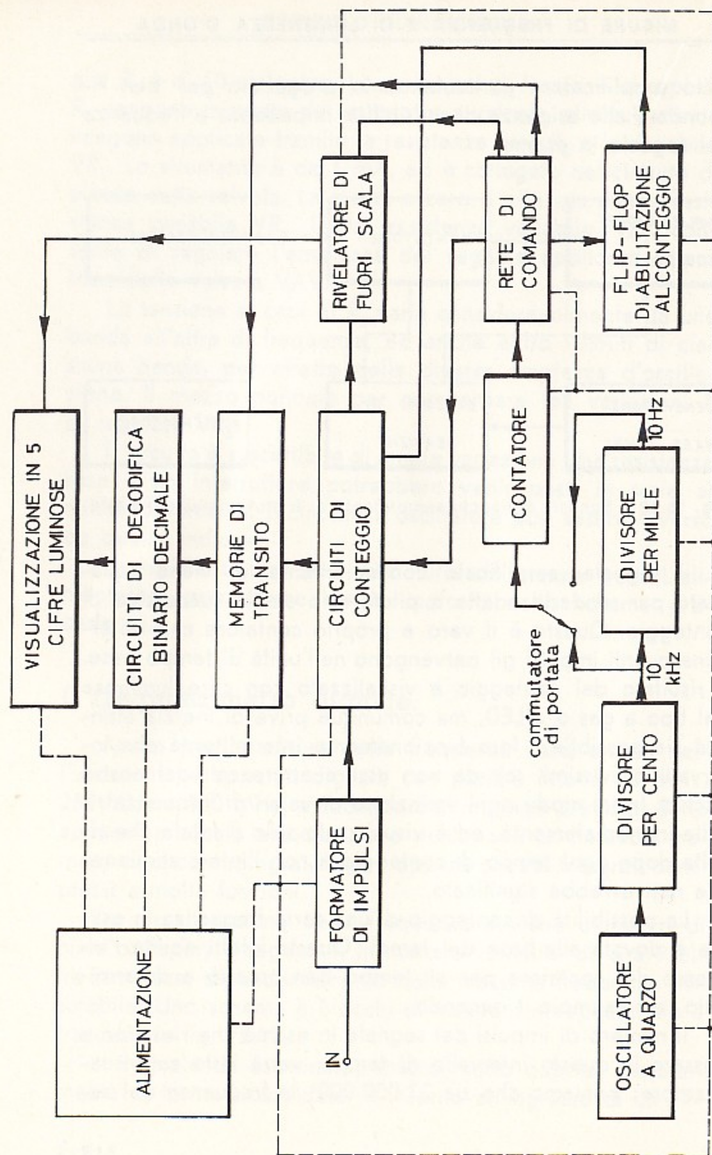


Fig. 15.13 - Schema a blocchi di frequenzimetro commerciale 0 ÷ 50 MHz

gnale in ingresso è quindi di 27 MHz. Dopo ciascun secondo viene interdetto l'ingresso al conteggio. A intervalli ritardati, contatore e visualizzatore vengono azzerati, e il ciclo può così ricominciare.

Le frequenze di spegnimento, azzeramento, abilitazione, sono ottenute da un'unica frequenza campione, ricavata a sua volta da un generatore a quarzo. Questa frequenza base deve essere molto precisa e stabile, ed il suo valore dipende dalle caratteristiche del frequenzimetro e dalla frequenza minima e massima che si vuol misurare. Si parte generalmente da un quarzo con frequenza di 1 MHz e per successive divisioni si ottiene la frequenza base dei tempi, generalmente di 1 Hz. Dai divisori si prelevano le altre frequenze utili per l'azzeramento, l'interdizione dei circuiti di conteggio, ecc., ossia quelli che vengono definiti circuiti di servizio.

Frequenzimetro 0÷50 MHz a 5 nixie.

La fig. 15.13 riporta lo schema a blocchi di un frequenzimetro digitale adatto per misure di frequenze fino a 50 MHz. Si notano, da sinistra in alto, l'alimentazione generale, il circuito formatore d'impulsi (amplificatore d'ingresso e squadratore); al centro vi è tutta la catena di conteggio e di visualizzazione a cinque nixie. A sinistra in basso è indicato il generatore della base dei tempi coi suoi stadi divisori di frequenza ed infine, a destra, i circuiti di servizio.

I circuiti integrati impiegati in questo frequenzimetro sono del tipo TTL (Transistor-Transistor-Logic), serie SN74.

CAPITOLO SEDICESIMO

IL VOLTMETRO A VALVOLA

Principio basilare.

Il *voltmetro a valvola* è uno strumento per la misura di tensioni elettriche continue, alternate ed alternative, a bassa e alta frequenza. È un voltmetro a resistenza interna estremamente alta, e consente perciò la misura precisa di tensione senza assorbire energia dal circuito al quale è collegato.

La tensione da misurare viene applicata all'entrata di una valvola elettronica, ossia tra la sua griglia controllo ed il suo catodo, ai capi della resistenza di griglia della valvola stessa, la quale è generalmente di 10 megaohm. La tensione da misurare si somma algebricamente alla tensione di griglia della valvola determinando una corrispondente variazione nella corrente di placca. Tale variazione di corrente è misurata con un milliamperometro. La scala del milliamperometro può essere graduata in volt, e consentire la lettura diretta della tensione incognita applicata all'entrata della valvola. Il milliamperometro può avere la propria scala graduata in milliampere, nel qual caso il voltmetro a valvola è provvisto di grafico di taratura, con il quale è possibile tradurre in valori di tensione quelli di corrente indicati dallo strumento.

La tensione da misurare applicata all'entrata della valvola può essere di qualche volt appena. Essa dipende dal tipo di valvola usata e dalle tensioni a cui viene fatta funzionare. Tale tensione è generalmente compresa tra 1 e 3 volt.

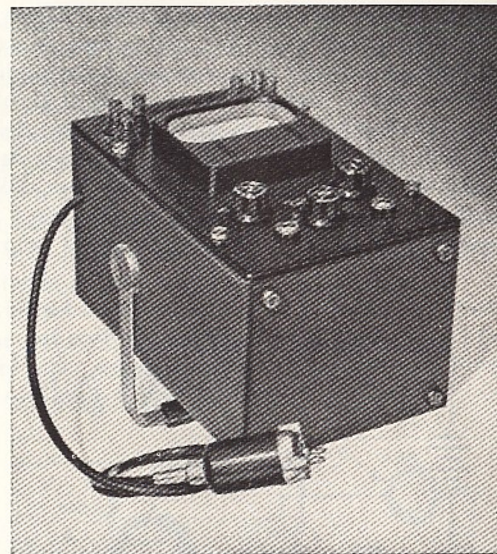


Fig. 16.1 - Esempio di tipico voltmetro a valvola con relativo probe.

Il voltmetro a valvola consente generalmente la misura di tensioni maggiori e ciò mediante un *partitore di tensione* presente alla sua entrata. In tal caso lo strumento è a più portate, e le stesse possono essere, ad es., le seguenti: 2,5 V, 5 V, 10 V, 25 V, 50 V e 100 volt.

Alle volte anche la prima portata è ricavata da una presa del partitore; le varie portate possono essere, ad es., le seguenti: 5 V, 10 V, 50 V, 100 V, 250 V e 500 volt.

UTILITÀ DEL VOLTMETRO A VALVOLA. — Il voltmetro a valvola è particolarmente utile per molti usi, uno dei quali quello di consentire la misura di piccole tensioni ai capi di alte resistenze, misura questa impossibile con i comuni voltmetri.

La fig. 16.2 dimostra che non è possibile misurare con un comune voltmetro la tensione di 1 volt ai capi di una delle due resistenze di 100 000 ohm ciascuna di un partitore di tensione ai cui capi è applicata una tensione di 2 volt. Supponendo di effettuare la misura con un voltmetro della portata di 1 volt, costituito da un milliamperometro da 1 mA con in serie una resistenza di 1000 ohm, l'indice dello strumento anzichè andare a fondo scala ed indicare 1 volt rimane pressochè immobile. Ciò avviene per il fatto che la

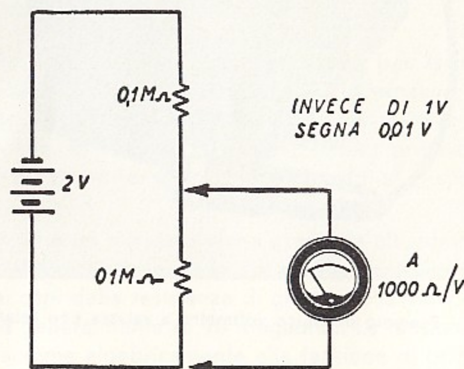


Fig. 16.2 - Con il comune voltmetro non è possibile la misura di piccole tensioni ai capi di alte resistenze.

resistenza interna dello strumento, poco superiore a 1000 ohm, si trova in parallelo con quella di 100 000 ohm; in seguito a ciò il partitore di tensione risulta costituito da una resistenza di 100 000 ohm in serie con altra di circa 1000 ohm. Ai capi di quest'ultima la tensione anzichè di 1 volt risulta di circa un centesimo di volt.

In fig. 16.3 è fatto lo stesso esempio di misura della tensione di 1 volt ai capi di una resistenza di 100 000 ohm con un voltmetro a valvola.

In tal caso lo strumento indica l'effettiva tensione esistente senza introdurre praticamente alcun errore, per il fatto della elevatissima resistenza di entrata, dieci megaohm, del voltmetro a valvola.

La tensione ad alta frequenza presente ai capi del secondario di un trasformatore di MF è misurabile soltanto con un voltmetro a valvola. Ciò consente di misurare il guadagno di ciascun stadio MF ed effettuare in tal modo controlli di sensibilità e di taratura dell'amplificatore MF e AF degli apparecchi radio.

Il voltmetro a valvola è pure utile per la misura della tensione del controllo automatico di volume (CAV) degli apparecchi radio e dei televisori, per la messa a punto dello stadio rivelatore a discriminatore o a rapporto.

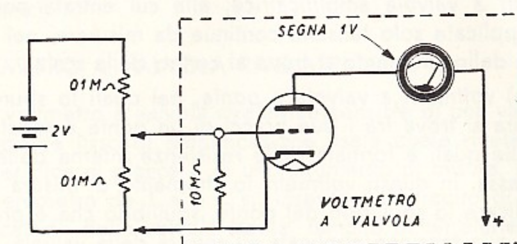


Fig. 16.3 - Con il voltmetro a valvola è possibile la misura di piccole tensioni ai capi di elevate resistenze.

Consente pure la misura delle tensioni impulsive nei televisori e l'apprezzamento del loro valore di cresta.

Il voltmetro a valvola è particolarmente utile per la ricerca di difetti e guasti in apparecchi radio, in televisori ed in trasmettitori; poichè consente di seguire il segnale AF da stadio in stadio; consente pure di localizzare tracce di tensione AF in circuiti BF o di alimentazione; riesce utile per stabilire l'efficacia dei filtri di disaccoppiamento AF, l'apertura di condensatori di disaccoppiamento, perdite, eccetera.

Tipi di voltmetri a valvola.

I voltmetri a valvola adatti per l'uso in laboratorio radiotecnico si possono distinguere, a seconda del modo con cui è utilizzato lo strumento di misura, in due gruppi:

a) *voltmetri a valvola semplici*, nei quali lo strumento di misura si trova inserito nel circuito di placca della valvola e consente la misura della corrente anodica dovuta alla variazione della tensione di polarizzazione causata dalla tensione da misurare, applicata all'entrata della valvola. Si distinguono a loro volta in due tipi: *voltmetri a valvola rivelatrice*, alla cui entrata possono venir applicate indifferentemente tensioni continue od alternate, da misurare: in questi v.a.v. l'indice del milliamperometro è a zero della scala; e *voltmetri a valvola amplificatrice*, alla cui entrata possono venir applicate solo tensioni continue da misurare, nei quali l'indice dello strumento si trova al centro della scala;

b) *voltmetri a valvola a ponte*, nei quali lo strumento di misura si trova tra i due bracci di un ponte a resistenze, una delle quali è formata dalla resistenza interna della valvola stessa. In questi voltmetri lo strumento di misura serve per indicare lo squilibrio del ponte, squilibrio che è proporzionale alla tensione applicata all'entrata della valvola, entro certi limiti.

Essi misurano solo tensioni continue, e quelle alternate o alternative rettificate da un rivelatore a valvola o a cristallo.

A loro volta essi si dividono in più gruppi, a seconda che funzionino ad una o più valvole. Nei v.a.v. a ponte, in assenza della tensione da misurare, l'indice dello strumento è a zero.

MISURA DI SEGNALI CON IL VOLTMETRO A VALVOLA

Il v.a.v. indica il valore massimo della tensione alternata e quello di cresta della tensione alternativa. Per ottenere il valore efficace dal valore massimo della tensione alternata, basta moltiplicare quest'ultimo per 0,707.

La misura delle tensioni ad alta frequenza è limitata dalle capacità di ingresso della valvola per cui è opportuno usare valvole a bassa capacità griglia-catodo.

La misura della tensione oscillante può considerarsi precisa sino a frequenze di 5 MHz; per frequenze superiori sino a 100 MHz occorre tener conto di un fattore di correzione che dipende dal tipo di valvola usata, della sua capacità di ingresso e tensioni di lavoro.

Il voltmetro a valvola semplice.

Come detto, il *voltmetro a valvola semplice* può essere di due tipi: a valvola rivelatrice ed a valvola amplificatrice. Ambedue questi tipi sono largamente in uso nei laboratori radiotecnici.

VOLTMETRO A VALVOLA RIVELATRICE

Il *voltmetro a valvola rivelatrice* consiste di una valvola a coefficiente fisso di amplificazione usata quale rivelatrice a caratteristica di placca e di uno strumento di misura, un milliamperometro da 1 a 5 f. s., inserito nel circuito di placca o di catodo della valvola stessa, nonchè di un alimentatore anodico.

In fig. 16.4 è indicato lo schema di principio di un v.a.v. di tipo semplice, adatto per una sola portata, ed in grado di misurare tensioni continue, alternate o alternative di qualche volt.

La valvola funziona con tensione negativa di polarizzazione tale da corrispondere al punto di interdizione della corrente anodica. È ottenuta applicando al catodo una tensione positiva prelevata da un potenziometro in funzione di partitore di tensione presente all'uscita dell'alimentatore.

La tensione di polarizzazione è indipendente da variazioni di corrente della valvola, cioè indipendente dalla tensione da misurare applicata all'entrata della valvola stessa.

La resistenza di griglia della valvola è molto elevata, di 10 megaohm, costituisce la resistenza di entrata del v.a.v.

Lo strumento è un milliamperometro il cui indice è a zero in assenza di tensione da misurare; quest'ultima va applicata con polarità positiva dal lato griglia e negativa dal lato massa. In tal modo essa si somma algebricamente alla tensione negativa di polarizzazione che risulta corrispondente-

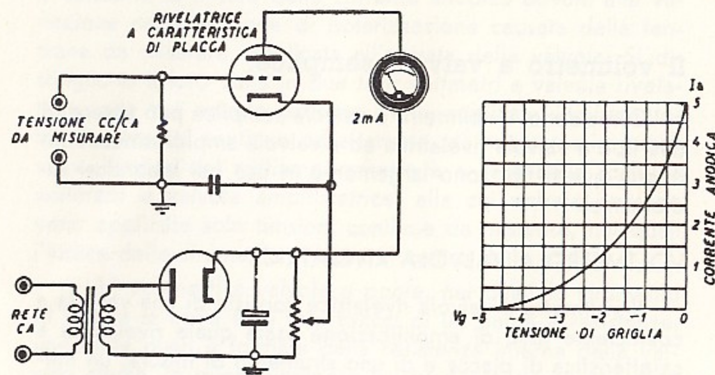


Fig. 16.4 – **Principio del voltmetro a valvola di tipo semplice, per misure di tensioni continue o alternative.**

mente diminuita; ciò provoca il passaggio di corrente anodica nella valvola che determina lo spostamento dell'indice del milliamperometro.

Poichè a variazioni della tensione negativa di polarizzazione corrispondono variazioni della corrente anodica praticamente lineari entro un tratto della curva caratteristica della valvola, la corrente di placca è proporzionale alla tensione applicata all'entrata.

Nell'esempio fatto, la corrente anodica è interdetta con la tensione di polarizzazione di — 3,5 V; riducendo tale tensione da — 3,5 a — 1,5 V (ciò che si ottiene quando la

tensione da misurare, applicata alla griglia, è di 2 V) la corrente anodica passa da 0 a 2 mA. L'indice va a fondo scala. Ciò è illustrato dal grafico della figura. I vari valori della tensione da misurare, compresi tra 0 e 2 volt, sono ricavabili dal grafico.

Tensioni superiori a 2 volt possono venir misurate con l'ausilio di un *partitore*, ossia suddividendo la resistenza di entrata di 10 megaohm in un certo numero di resistenze minori collegate in serie. Suddividendo ad esempio, la resistenza di 10 MΩ in due da 5 MΩ, collegando la griglia alla presa intermedia è possibile estendere la portata da 2 a 4 volt. La resistenza di entrata del v.a.v. rimane di 10 megaohm. In altra parte del presente capitolo è detto come vanno calcolati i valori delle diverse resistenze per più portate.

Quanto detto per la misura della tensione continua vale anche per la misura della tensione alternata. La semionda positiva diminuisce la tensione di polarizzazione della valvola e determina lo spostamento dell'indice, mentre quella negativa non ha alcun effetto dato che oltrepassa il valore di interdizione della corrente anodica.

VOLTMETRO A VALVOLA AMPLIFICATRICE (fig. 16.5)

Il *voltmetro a valvola amplificatrice* si distingue dal precedente per il fatto che la valvola funziona al centro della sua curva caratteristica in assenza di tensione da misurare.

A differenza del v.a.v. precedente, questo v.a.v. richiede che la portata del milliamperometro coincida con la corrente anodica massima della valvola, affinchè in assenza di tensione da misurare l'indice del milliamperometro si trovi al centro della scala. Una resistenza variabile in parallelo al milliamperometro serve a variare la sensibilità di quest'ultimo per ottenere la messa al centro dell'indice in assenza di tensione da misurare.

Questo v.a.v. presenta il vantaggio di consentire l'accurata messa al centro dell'indice mentre con il voltmetro con

valvola rivelatrice è piuttosto difficile ottenere la messa a zero dell'indice dato che vi è sempre una debole corrente anodica.

Un altro vantaggio del voltmetro a valvola amplificatrice è quello di consentire di stabilire la polarità della tensione applicata, ed effettuare la lettura senza dover invertire i terminali. Generalmente la metà sinistra della scala è utilizzata per le tensioni negative, e la metà destra per quelle positive.

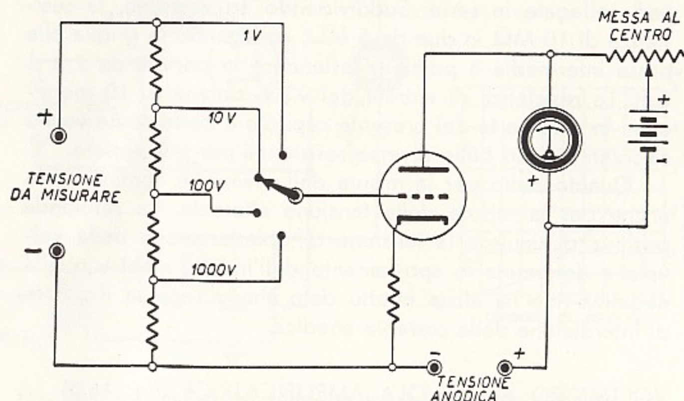


Fig. 16.5 - Principio di voltmetro elettronico con valvola amplificatrice della tensione da misurare. L'indice dello strumento è al centro della scala, in assenza di tensione da misurare.

Questo v.a.v. presenta però due inconvenienti: il primo di richiedere l'uso di un rivelatore per le misure di tensioni alternative, il secondo di ridurre a metà la tensione applicabile all'entrata della valvola.

Il primo inconveniente può venir ovviato con l'uso di un probe a cristallo di germanio, il secondo può venir ovviato aumentando il numero delle portate.

Di ambedue questi tipi di v.a.v. semplici sono riportati esempi pratici nelle pagine seguenti.

Principio del voltmetro a valvola a ponte.

Nel *voltmetro a valvola a ponte*, la valvola è inserita in un ponte a resistenza, costituisce cioè uno dei suoi rami; ossia la resistenza interna della valvola sostituisce una delle quattro resistenze.

Del ponte a resistenza è stato detto nel capitolo quinto.

La fig. 16.6 illustra il principio del v.a.v. a ponte; esso è formato da due divisori di tensione, ciascuno dei quali è costituito da due resistenze.

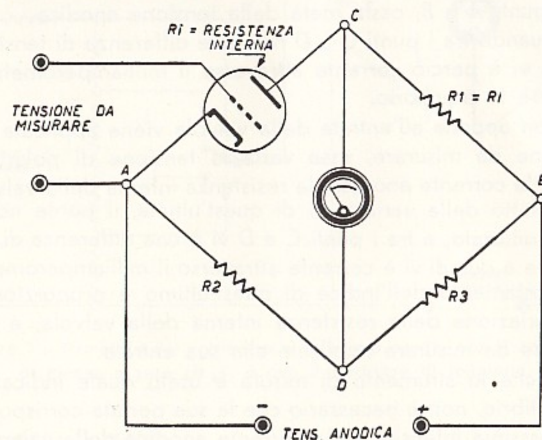


Fig. 16.6 - Principio del voltmetro a valvola a ponte. In assenza di tensione da misurare, l'indice dello strumento è a zero.

Si supponga che le tre resistenze del ponte, ossia R_1, R_2 e R_3 siano eguali tra di loro ed eguali alla resistenza interna della valvola, in assenza di tensione da misurare. In tal caso, la corrente di alimentazione anodica, applicata tra i punti *A* e *B*, si suddivide in due parti esattamente eguali; una delle due parti percorre la valvola e la resistenza R_1; l'altra parte

percorre le resistenze R_2 e R_3. La tensione di alimentazione risulta suddivisa anch'essa in due parti eguali, per cui tra i punti *C* e *D* non vi è differenza di tensione, in quanto tali punti si trovano alla stessa tensione. Tra i punti *C* e *D* non vi è perciò passaggio di corrente, e lo strumento ha l'indice a zero.

Non è necessario che le resistenze R_2 e R_3 abbiano lo stesso valore di R_1 e della resistenza interna della valvola; è solo necessario che siano dello stesso valore, in modo che nel punto *D* la tensione risulti esattamente la metà di quella tra i punti *A* e *B*, ossia metà della tensione anodica.

Quando tra i punti *C* e *D* non vi è differenza di tensione, e non vi è perciò corrente attraverso il milliamperometro, il ponte è in equilibrio.

Non appena all'entrata della valvola viene applicata una tensione da misurare, essa varia la tensione di polarizzazione, la corrente anodica, la resistenza interna della valvola. Per effetto della variazione di quest'ultima, il ponte non è più equilibrato, e tra i punti *C* e *D* vi è una differenza di potenziale e quindi vi è corrente attraverso il milliamperometro. Lo spostamento dell'indice di quest'ultimo è proporzionale alla variazione della resistenza interna della valvola, e alla tensione da misurare applicata alla sua entrata.

Poichè lo strumento di misura è usato quale indicatore di squilibrio, non è necessario che la sua portata corrisponda alla massima intensità della corrente anodica della valvola.

In tal modo il v.a.v. a ponte può essere più sensibile di quello semplice, essendo possibile utilizzare quale indicatore di zero un microamperometro. Ciò consente la misura di tensioni molto piccole.

Il v.a.v. a ponte presenta anche altri vantaggi: quello di essere quasi indipendente dalle fluttuazioni di tensione della rete-luce, quello di consentire l'accurata messa a zero dello strumento, quello di poter far funzionare la valvola sul tratto rettilineo della sua caratteristica, dato che l'indice dello strumento è a zero anche se vi è corrente di placca.

Presenta però l'inconveniente di consentire solo la misura di tensione continua, dato che la valvola funziona da amplificatrice, e non da rivelatrice. La misura delle tensioni alternate ed alternative è possibile con l'ausilio di un rettificatore, un diodo elettronico o a cristallo di germanio.

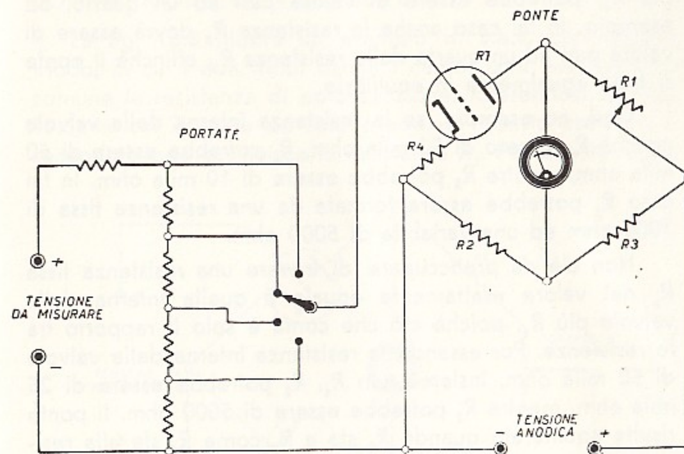


Fig. 16.7 – Principio del voltmetro a valvola a ponte, con il controllo di messa a zero (R_1), e con il partitore di tensione.

LA MESSA A ZERO

In pratica la resistenza R_1 è variabile, in modo da poter venir regolata e corrispondere esattamente alla resistenza interna della valvola, come indicato dalla fig. 16.7. Inoltre, in serie alla valvola è necessario vi sia la resistenza di catodo della stessa R_4.

La resistenza variabile R_1 vien detta *controllo di messa a zero*, in quanto provvede ad equilibrare il ponte, e quindi a far sì che l'indice dello strumento sia a zero, in assenza di tensione da misurare. Non è sempre opportuno che la resi-

stenza variabile R_1, sia come indicato in figura; in pratica può risultare preferibile utilizzare due resistenze, una fissa e una variabile.

Va anche notato che la resistenza R_1 non è necessario sia esattamente eguale alla resistenza interna della valvola più R_4; potrebbe essere di valore pari ad un quarto, ad esempio. In tal caso anche la resistenza R_3 dovrà essere di valore pari ad un quarto della resistenza R_2, affinchè il ponte si trovi egualmente in equilibrio.

Così, ad esempio, se la resistenza interna della valvola nonchè R_4 fossero di 50 mila ohm, R_2 potrebbe essere di 50 mila ohm, mentre R_3 potrebbe essere di 10 mila ohm. In tal caso R_1 potrebbe essere formata da una resistenza fissa di 7000 ohm ed una variabile di 5000 ohm.

Non c'è da preoccuparsi di trovare una resistenza fissa R_2 del valore esattamente eguale a quella interna della valvola più R_4, poichè ciò che conta è solo il rapporto tra le resistenze. Pur essendo la resistenza interna della valvola di 50 mila ohm, insieme con R_4, R_2 potrebbe essere di 25 mila ohm, mentre R_3 potrebbe essere di 5000 ohm. Il ponte risulta equilibrato quando R_3 sta a R_2 come R_1 sta alla resistenza interna più R_4.

Principio del voltmetro a valvola a ponte con doppio triodo.

Il voltmetro a valvola del tipo precedentemente descritto, ad una valvola sola, presenta alcuni inconvenienti, il principale di essi consiste nel fortissimo sbilanciamento del ponte mentre la valvola è in via di raggiungere il regime normale di funzionamento, ossia durante i primi istanti di accensione. In queste condizioni un ramo del ponte è a resistenza elevatissima per cui vi è una notevole corrente attraverso il milliamperometro. Un altro inconveniente consiste nel fatto che l'indice dello strumento tende a spostarsi dallo zero e richiede una continua regolazione di azzeramento.

Questi due inconvenienti sono evitati sostituendo le resistenze fisse di un ramo del ponte con altra valvola uguale a quella a cui vengono applicate le tensioni da misurare. Serve ottimamente a tale scopo un doppio triodo.

DOPPIO TRIODO CON CATODI UNITI

La fig. 16.8 illustra un esempio di v.a.v. con doppio triodo, in cui i due triodi hanno i catodi uniti, ed hanno in comune la resistenza di polarizzazione. Riferendosi alla fig. 16.6, in cui è usato un solo triodo, in questo esempio il secondo triodo sostituisce la resistenza R_2. Per questa ragio-

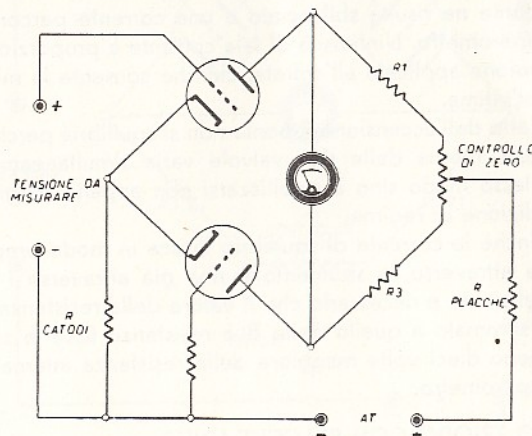


Fig. 16.8 - Principio del voltmetro elettronico con valvola a doppio triodo.

ne, le due resistenze R_1 e R_3 sono dello stesso valore. Poichè però la resistenza interna dei due triodi non è mai esattamente la stessa, per compensare le inevitabili differenze, e quindi per ottenere l'equilibrio del ponte, è utilizzata una resistenza variabile, disposta come indicato in figura.

La griglia di uno dei triodi è collegata al partitore di tensione e ad essa è applicata la tensione da misurare. La griglia dell'altro triodo è a massa. I due catodi sono collegati insieme e polarizzati con una adeguata tensione stabilizzata.

In assenza di tensione da misurare i due triodi sono percorsi dalla stessa corrente. Lo strumento di misura è utilizzato quale indicatore, mentre la resistenza variabile pone il ponte in condizione di equilibrio e consente di portare a zero l'indice dello strumento.

In presenza di tensione da misurare varia la tensione di polarizzazione di una delle due valvole, varia la sua corrente di placca e perciò pure la sua resistenza interna.

Il ponte ne risulta sbilanciato e una corrente percorre il milliamperometro. L'intensità di tale corrente è proporzionale alla tensione applicata all'entrata, ciò che consente la misura di quest'ultima.

All'atto dell'accensione il ponte non si squilibria perchè la resistenza interna delle due valvole varia simultaneamente nello stesso modo sino a stabilizzarsi non appena raggiunta la condizione di regime.

Affinchè la corrente di squilibrio fluisca in modo preponderante attraverso lo strumento e non già attraverso i due rami del ponte è necessario che il valore della resistenza variabile sommato a quello delle due resistenze fisse in serie, sia almeno dieci volte maggiore della resistenza interna del milliamperometro.

DOPPIO TRIODO CON PLACCHE UNITE

La fig. 16.9 illustra il principio di funzionamento del v.a.v. con doppio triodo, in cui i due triodi sono collegati con le placche unite. Il secondo triodo sostituisce in tal modo la resistenza R_2 di fig. 16.6, come nell'esempio precedente; il milliamperometro risulta collegato tra i due catodi anzichè tra le due placche, e le misure di tensione si riferiscono a variazioni di tensione presenti tra i due catodi, anzichè tra le due placche.

Come nell'esempio precedente, in assenza di tensione da misurare i due triodi sono percorsi da corrente di placca della stessa intensità per cui non vi è differenza di potenziale tra i due catodi e l'indice del milliamperometro è a zero. La tensione da misurare altera la tensione di polarizzazione di uno solo dei triodi, ne varia la corrente di placca e determina una differenza di potenziale fra i due catodi con conseguente corrente attraverso il milliamperometro.

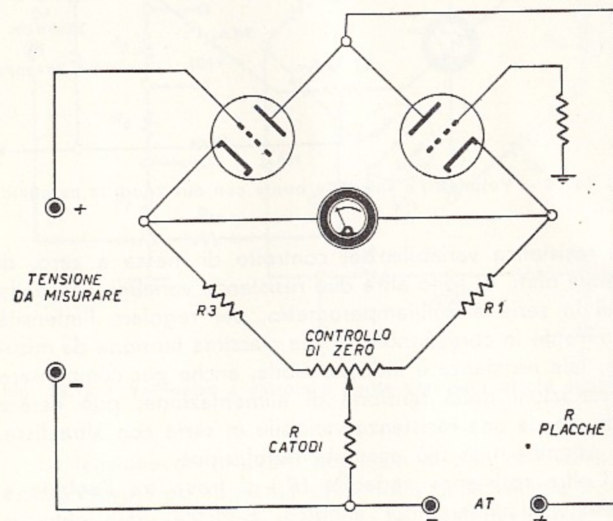


Fig. 16.9 - Altro esempio di principio del voltmetro a valvola con doppio triodo.

ESEMPIO DI VOLTMETRO A VALVOLA A DOPPIO TRIODO

La fig. 16.10 indica i componenti essenziali di un voltmetro a valvola, a doppio triodo, con placche unite, e quindi con il milliamperometro collegato tra i due catodi. Le due resistenze fisse del ponte sono da 2000 ohm, e fanno capo

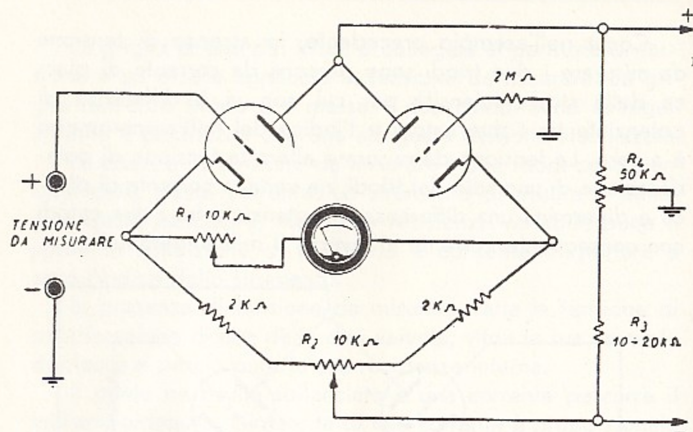


Fig. 16.10 - Voltmetro a valvola a ponte con due triodi in parallelo.

alla resistenza variabile del controllo di messa a zero, di 10 mila ohm. Vi sono altre due resistenze variabili, una delle quali in serie al milliamperometro, per regolare l'intensità di corrente in corrispondenza alla massima tensione da misurare; tale resistenza è indispensabile, anche per compensare le variazioni della tensione di alimentazione; può essere costituita da una resistenza variabile in serie con altra fissa, per ottenere una più accurata regolazione.

L'altra resistenza variabile (R_4) si trova tra l'entrata e l'uscita dell'alimentatore anodico. È di 50 mila ohm, in serie con altra (R_3) il cui valore può essere compreso tra 10 e 20 mila ohm. Anch'essa ha notevole importanza per ottenere l'equilibrio del ponte.

VOLTMETRO A VALVOLA CON DOPPIO TRIODO E CATODI UNITI

La fig. 16.11 riporta lo schema semplificato di un voltmetro a valvola a doppio triodo, con catodi in comune, anzichè con placche unite, come nell'esempio precedente.

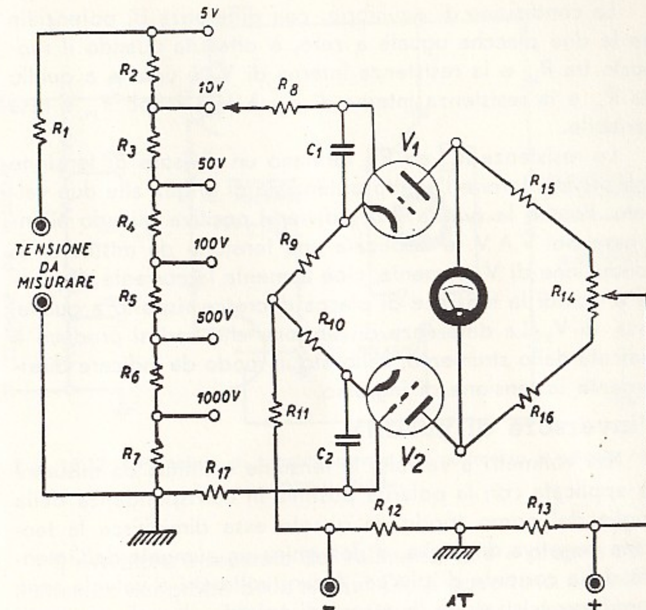


Fig. 16.11 - Voltmetro a valvola a ponte con due valvole separate.

La tensione da misurare applicata al partitore viene da esso prelevata ed applicata alla griglia della valvola V_1 tramite la resistenza R_8. Tale resistenza ha il valore di alcuni megaohm e serve ad impedire l'avaria delle valvole, nel caso vengano erroneamente applicate tensioni eccessive. Un'altra resistenza R_{17} che si trova collegata alla griglia di V_2, ha lo stesso scopo; i condensatori C_1 e C_2 servono ad evitare che le letture vengano falsate per presenza di alta frequenza.

Il ponte è formato da due valvole, V_1 e V_2, e da due resistenze, R_{15} e R_{16}; le due valvole formano un lato del ponte, il lato opposto è formato dalle resistenze; la tensione esistente tra le due placche è indicata dallo strumento.

La condizione di equilibrio, con differenza di potenziale tra le due placche uguale a zero, è ottenuta quando il rapporto tra R_{15} e la resistenza interna di V_1 è uguale a quello tra R_{16} e la resistenza interna di V_2. A tale scopo R_{14} è resa variabile.

Le resistenze R_{12} ed R_{13} formano un divisore di tensione che serve a fornire l'adatto potenziale di griglia alle due valvole. Poiché la griglia di V_1 diviene positiva quando all'ingresso del V.A.V. è applicata una tensione da misurare, la conduzione di V_1 aumenta, cioè aumenta la corrente di placca e quindi la tensione di placca decresce rispetto a quella, fissa, di V_2. La differenza di tensione che così si produce è indicata dallo strumento, calibrato in modo da indicare direttamente la tensione di ingresso.

L'inversore di polarità.

Nei voltmetri a valvola, la tensione continua da misurare va applicata con la polarità positiva in corrispondenza della griglia del primo triodo, in quanto essa diminuisce la tensione negativa di griglia, e determina un aumento dell'intensità della corrente di placca. Alcuni voltmetri a valvola sono perciò provvisti di un inversore di polarità, il quale consente di invertire la polarità del milliamperometro, in modo da consentire letture anche con tensione da misurare con polarità invertita.

La fig. 16.12 illustra un esempio di voltmetro a valvola, con doppio triodo, con catodi uniti, e con il milliamperometro collegato tra le placche dei due triodi. Il principio è quello illustrato dalla fig. 16.9, con la differenza che la tensione di polarizzazione è ottenuta con una batteria di pile a secco.

Rivelatori per misure di segnali AF e BF.

I voltmetri a valvola sono adatti per la sola misura di tensioni continue; per quella di tensioni alternate o dei segnali AF e BF, sono normalmente provvisti di un rettificatore a diodo a vuoto o a cristallo di germanio.

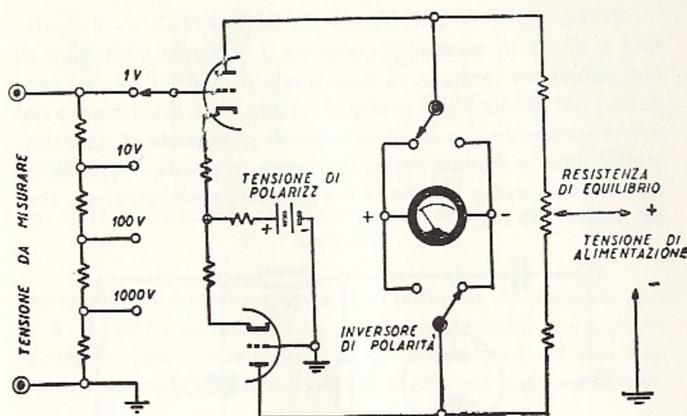


Fig. 16.12 - Principio di funzionamento del voltmetro a valvola con doppio triodo.

Il rivelatore è separato dal voltmetro vero e proprio ed è contenuto nel probe dello stesso. Ciò è opportuno per minimizzare le perdite AF e la capacità di entrata del rivelatore, in modo da renderlo atto a misure su circuiti AF.

RIVELATORE CON DIODO A VUOTO. — La tensione alternativa da misurare viene applicata ad un diodo posto in serie con un condensatore (C_1 in fig. 16.13) di capacità adeguata (è di 0,02 µF in alcuni strumenti, di 0,2 µF o circa, in altri). In seguito a ciò, l'ampiezza della tensione rettificata presente ai capi del diodo è quasi uguale alla tensione di cresta, da cui il termine di *rivelatore di cresta o di picco.*

La tensione rettificata appare ai capi di una resistenza di carico R_1 di valore molto elevato, alcuni megaohm, per assicurare l'alta impedenza d'entrata del voltmetro. Un filtro, costituito da R_2 e da C_2, provvede ad eliminare la componente alternativa; alla sua uscita è presente una tensione continua da applicare all'entrata del voltmetro a valvola.

RIVELATORE A CRISTALLO DI GERMANIO. — Il *rivelatore a diodo di germanio* consente il notevole vantaggio di non richiedere tensione di accensione e quindi i relativi conduttori nel cordone del probe. Presenta pure il vantaggio del minimo ingombro, e della assenza di potenziale di contatto; inoltre data la minima capacità interna, si presta ottimamente anche per rilevare tensioni AF a frequenza elevatissima, sino ad oltre i 100 Mc/s.

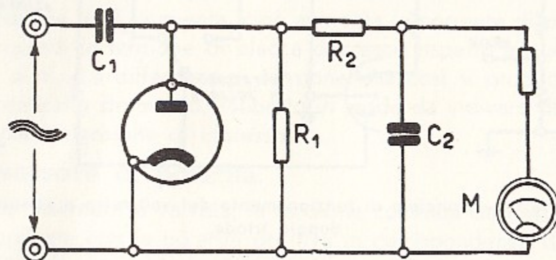


Fig. 16.13 - Principio del diodo rivelatore di tensione alternativa.

Presenta però lo svantaggio di consentire la rettificazione di tensioni di solo qualche decina di volt. La massima tensione applicabile al diodo di germanio 1N34 è ad es, di 21 volt.

ESEMPI DI PROBE. — La fig. 16.14 indica il tipo classico di probe per voltmetro a valvola, provvisto di un cristallo di germanio in funzione di rettificatore del segnale BF o della tensione alternata. La tensione da misurare è applicata al divisore costituito dal condensatore di 20 000 pF e dal diodo, ai capi del quale vi è la resistenza di carico di 10 megaohm. La tensione rettificata è quindi livellata dalla resistenza di 1 megaohm e dal condensatore di 2000 pF.

La fig. 16.15 illustra un altro tipo di probe, adatto per segnali AF o BF; presenta il vantaggio di poter venir utilizzato indifferentemente sia per segnali ad alta frequenza che

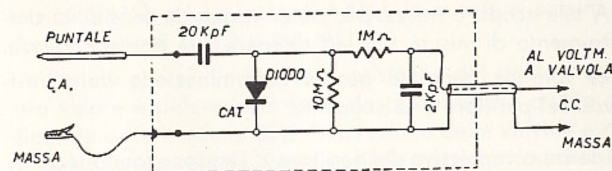


Fig. 16.14 - Esempio di probe (sonda) per tensioni alternate e segnali BF.

per quelli ad audiofrequenza. L'impedenza AF indicata con L_1 è di 200 microhenry, in modo da formare un circuito accordato con condensatore di 0,1 microfarad ad una frequenza pari alla più alta delle BF e alla più bassa delle AF.

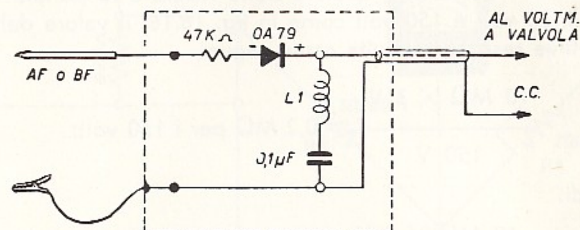


Fig. 16.15 - Esempio di probe (sonda) adatto sia per segnali ad alta che a bassa frequenza.

Determinazione delle resistenze del partitore e del ponte di un voltmetro a valvola.

Per la determinazione dei valori delle resistenze per il partitore di tensione di un qualsiasi voltmetro a valvola è necessario anzitutto stabilire la massima tensione da misurare applicabile alla valvola. È opportuno che tale tensione sia di valore numerico intero, ad es. 2 o 3 volt, in modo da poter ottenere le altre portate semplicemente per moltiplicazione dalla prima.

A tale scopo è necessario poter variare la sensibilità dello strumento di misura sino ad ottenere tale corrispondenza.

La formula generale per la determinazione della resistenza del partitore è la seguente:

$$\frac{\text{Resistenza complessiva del partitore} \times \text{Tensione fondo scala}}{\text{Tensione applicata al partitore}} =$$

$$= \text{Resistenza per la tensione desiderata.}$$

Qualora la tensione d'entrata corrispondente necessaria per portare l'indice a fondo scala sia di 3 V e la resistenza complessiva del partitore debba essere di 10 MΩ come comunemente avviene, e qualora siano richieste le portate di 6 volt, 30 volt e 150 volt come in fig. 16.16, il valore delle rispettive resistenze risulta come segue:

$$\frac{10\ \text{M}\Omega \times 3\ \text{V}}{150\ \text{V}} = 0{,}2\ \text{M}\Omega \text{ per i 150 volt;}$$

quindi:

$$\frac{10\ \text{M}\Omega \times 3\ \text{V}}{30\ \text{V}} = 1\ \text{M}\Omega \text{ per i 30 volt;}$$

e infine

$$\frac{10\ \text{M}\Omega \times 3\ \text{V}}{6\ \text{V}} = 5\ \text{M}\Omega \text{ per la tensione di 6 volt.}$$

Essendo la resistenza complessiva del partitore di 10 MΩ, i valori delle varie resistenze del partitore risultano come segue: per la portata di 150 volt è di 0,2 MΩ; per la portata di 30 volt deve essere di 1 MΩ, ed è perciò di 0,8 MΩ che si somma a quella di 0,2 MΩ; per la portata di 6 volt deve essere di 5 MΩ, ed è perciò di 4 MΩ, in quanto si somma alle due precedenti di 0,2 e 0,8 MΩ.

Per ciò che si riferisce alle resistenze del ponte stesso, il loro valore è determinato tenendo presente che quello di R_1 dipende dalla tensione di polarizzazione della valvola e quindi dal tipo di valvola usata e dalla tensione anodica; che

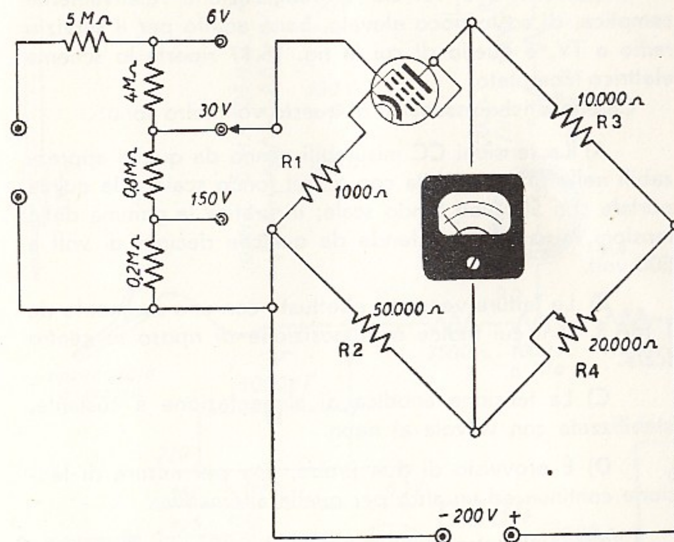


Fig. 16.16 – Esempio di valori delle resistenze del partitore di tensione e del ponte di un voltmetro a valvola.

quello di R_2 deve essere uguale alla resistenza interna della valvola alla tensione di polarizzazione normale; ed infine che il valore di R_3 è generalmente di 10 000 Ω e quello di R_4 è variabile pure intorno a 10 000 Ω, in quanto il rapporto tra R_3 ed R_4 deve essere uguale all'unità.

ATTUAZIONE PRATICA DI VOLTMETRI A VALVOLA

Voltmetro a valvola di tipo semplice per misure di tensioni continue e alternative.

Un *voltmetro a valvola* di realizzazione relativamente semplice, di costo poco elevato, bene adatto per il servizio radio e TV, è quello di cui la fig. 16.17 riporta lo schema elettrico completo.

Caratteristiche essenziali di questo voltmetro sono:

A) Le tensioni CC misurabili vanno da quelle apprezzabili nella prima portata con 5 volt fondo scala, alla quinta portata con 500 volt fondo scala; in pratica la gamma delle tensioni misurabili si estende da qualche decimo di volt a 500 volt.

B) Le letture vengono effettuate con uno strumento da 1 mA f. s. il cui indice è in *posizione di riposo in centro scala*.

C) La tensione anodica di alimentazione è costante, stabilizzata con valvola al neon.

D) È provvisto di due probe, uno per misure di tensione continua ed un altro per quella alternativa.

Questo voltmetro a valvola si presta ottimamente per rapide misure di tensioni su circuiti radio e TV, dato che non è necessario un commutatore per l'inversione della polarità, essendo l'indice al centro scala.

La valvola è un triodo 6C4, a coefficiente di amplificazione fisso; il milliamperometro è inserito nel circuito di catodo della valvola in serie con una resistenza fissa di 1000 ohm e di un'altra variabile R_1 pure di 1000 ohm. Quest'ultima serve a regolare la tensione di polarizzazione onde correggere le indicazioni strumentali a fondo scala. Un'altra resistenza va-

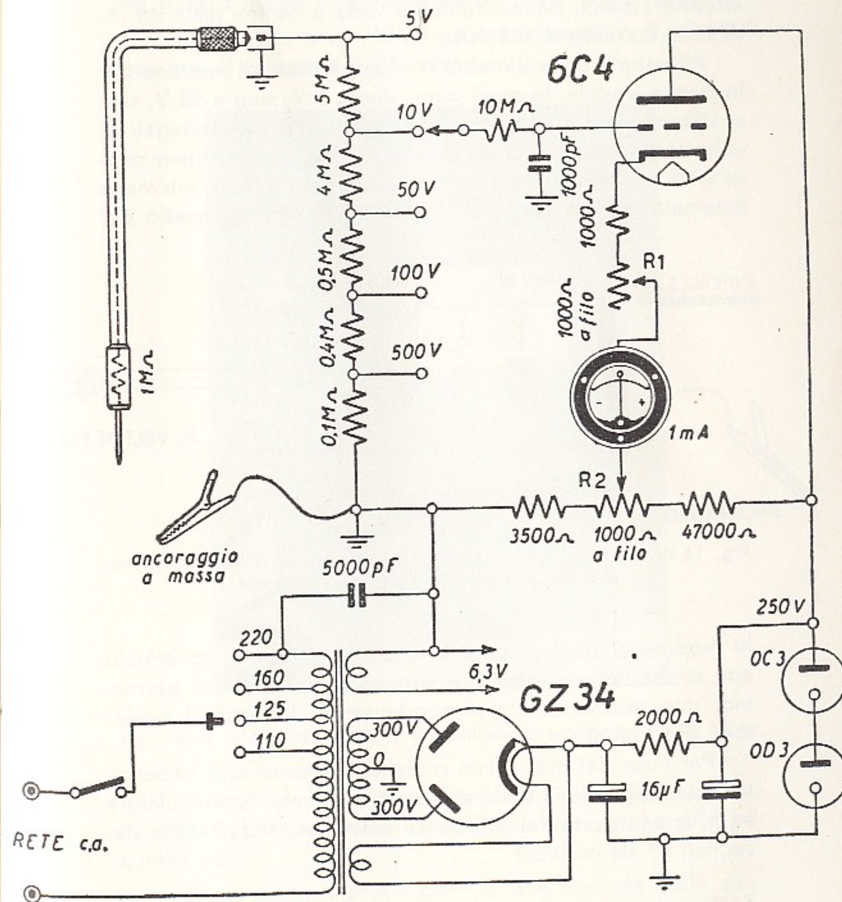


Fig. 16.17 – Schema di voltmetro a valvola di tipo semplice per la misura di tensioni continue su cinque portate. Consente anche la misura di tensioni alternative con il probe di fig. 16.18.

riabile R_2 di 1000 ohm serve a regolare la corrente anodica affinchè l'indice dello strumento vada a centro scala ed indichi la corrente di 0,5 mA.

All'entrata del voltmetro vi è un partitore di tensione per le cinque portate, le quali sono: sino a 5 V, sino a 50 V, sino a 100 V, e sino a 500 V. I due probe vanno collegati al voltmetro tramite la presa a boccola con vite. Il primo consiste di un cavetto schermato con puntale nel cui interno è sistemata una resistenza di 1 MΩ; l'altro probe, quello per

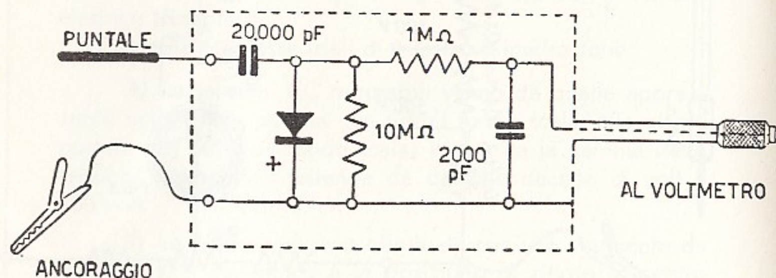


Fig. 16.18 – Probe con cristallo di germanio per la misura di tensioni alternative con voltmetro a valvola.

le tensioni alternate, consiste di un altro cavetto schermato con probe nel cui interno è sistemato il cristallo di germanio, due resistenze e due condensatori, formanti il rivelatore (fig. 16.18).

Per l'uso del probe con cristallo di germanio è necessario calibrare la scala dello strumento portando il commutatore su 5 V; tale portata è sufficiente data l'ampiezza ridotta dei segnali AF da misurare.

TARATURA

Prima di effettuare la taratura occorre che lo strumento abbia raggiunto le normali condizioni di regime, per cui è

necessario collegarlo alla rete e lasciare le valvole accese per 10÷15 minuti. Procedere quindi nell'ordine seguente:

a) regolare anzitutto la resistenza variabile R_1 di 1000 ohm, con il cursore a metà corsa;



Fig. 16.19 – Aspetto esterno del voltmetro a valvola di fig. 16.17.

b) regolare la resistenza variabile R_2 sino a portare l'indice del milliamperometro al centro della scala, ossia in posizione zero;

c) collegare il probe per CC alle boccole dello strumento ed inserire la prima portata, quella sino a 5 volt;

d) tra il puntale del probe e l'ancoraggio a massa (bocca di coccodrillo) applicare la tensione di 5 volt CC, assicu-

randosi che sia effettivamente 5 volt, con adatto strumento. La tensione di 5 volt può venir ottenuta con una batteria di pile a secco in parallelo ad un potenziometro da 500 ohm;

e) regolare la posizione del cursore della resistenza R_1 sino a portare l'indice esattamente a fondo scala, ossia in posizione 5 volt. L'indice andrà ad un estremo della scala, a sinistra o a destra, a seconda della polarità della batteria; quest'ultima andrà invertita per verificare la posizione dell'indice all'altro estremo;

f) togliere la tensione e verificare se l'indice del milliamperometro ritorna esattamente al centro della scala (posizione zero), diversamente ritoccare R_2;

g) ripetere le operazioni e) f) sino a raggiungere la concordanza dei valori;

h) applicare al probe CC, regolando il potenziometro della batteria, le tensioni di 4 V, 3 V, 2 V ed 1 V; controllare la corrispondenza delle indicazioni.

La scala del milliamperometro essendo lineare, generalmente non corrisponde con quella del voltmetro a valvola, per cui la graduazione della scala stessa va ritoccata in base alle letture con le tensioni di 4 V, 3 V, 2 V e 1 V, a ciascun lato dello zero centrale.

La nuova graduazione corrisponde sia alle prime portate, sino a 5 volt, come pure alle altre quattro portate.

Le varie letture fornite dallo strumento possono servire per tracciare il grafico di taratura, che potrà risultare simile a quello di fig. 16.20.

La misura di tensioni alternate, da effettuare con il probe CA, è limitata alla tensione massima sopportabile dal cristallo di germanio; tale tensione massima è ad es. di 20 volt per il tipo 1N34 e di 54 volt per il tipo 1N55.

La taratura fatta per le tensioni CC corrisponde anche per le tensioni CA superiori a 5 volt; per le tensioni CA inferiori ai 5 volt è necessario procedere all'apposita taratura, da

effettuare con lo stesso procedimento già indicato, e valendosi di una tensione alternata. Il valore indicato dallo strumento è quello di picco; il valore efficace risulta dalla moltiplicazione per 0,707.

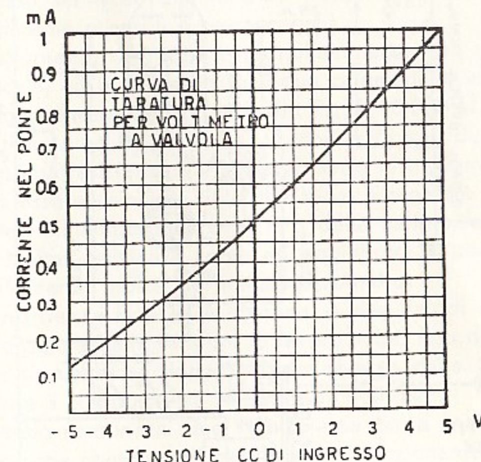


Fig. 16.20 – Grafico di taratura per il voltmetro a valvola di fig. 16.17.

Esempio di voltmetro a valvola a ponte con doppio triodo.

La fig. 16.21 riporta lo schema di un voltmetro a valvola a ponte con doppio triodo 12AU7.

I due triodi sono inseriti nello stesso ramo del ponte ed hanno le placche collegate insieme. La tensione da misurare è applicata tra una delle griglie e massa. La griglia dell'altro triodo è a massa.

In assenza della tensione da misurare, i due triodi sono percorsi da corrente anodica della stessa intensità; in presenza di tensione da misurare varia la polarizzazione di gri-

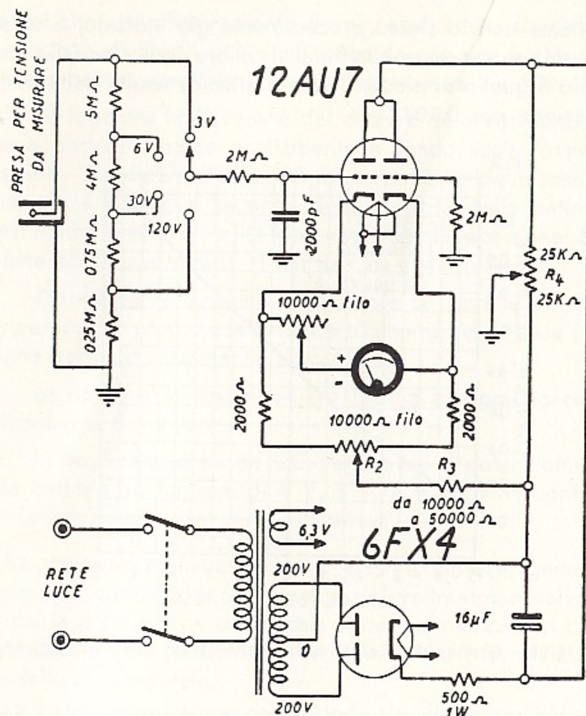


Fig. 16.21 – Schema di voltmetro a valvola a ponte con doppio triodo per tensioni continue su quattro portate ed alternative con probe a rettificatore.

glia e la corrente di placca di uno dei triodi, mentre rimane invariata la corrente di placca dell'altro triodo.

La portata minima di questo v.a.v. è di 3 V; sono previste altre tre portate di 6, 30 e 120 volt, mediante un commutatore ad una via e quattro posizioni.

La resistenza complessiva del partitore è di 10 megaohm;

esso è suddiviso in quattro resistenze minori di 5 MΩ, 4 MΩ, 0,75 MΩ e 0,25 megaohm.

Tra il partitore e la griglia vi è un filtro AF costituito da una resistenza di 2 MΩ e da un condensatore di 2 000 pF a mica; esso serve ad eliminare le tracce di alta frequenza eventualmente presenti e sovraccarichi.

Lo strumento di misura è un milliamperometro da 1 mA fondo scala, ed è collegato tra i due catodi della valvola.

Vi sono due resistenze variabili: R_1, di 10 000 Ω, in serie allo strumento ed R_2, di 10 000 Ω, collegata tra i due catodi.

La prima resistenza variabile, in serie al milliamperometro, può essere semifissa dato che serve a regolare la sensibilità del milliamperometro all'atto della calibrazione dello stesso. L'altra resistenza serve ad equilibrare il ponte ed a portare a zero l'indice del milliamperometro.

La resistenza fissa R_3 è comune ai due catodi ed il suo valore dipende dalle tensioni di lavoro e dal tipo di valvola, qualora sia usato un doppio triodo diverso dalla 12AU7. Il suo valore è compreso tra 10 000 e 50 000 ohm.

Essendo comune ai due catodi, essa causa una reazione negativa, che consente di stabilizzare il funzionamento dello strumento ed aumentarne la linearità delle indicazioni.

La resistenza R_4 collegata all'uscita dell'alimentatore è di tipo a filo di 50 000 Ω, 5 W, a presa variabile.

L'alimentatore consiste di un trasformatore di tensione con un secondario AT di 2 × 200 V e 20 mA, ed un secondario BT di 6,3 V.

La valvola raddrizzatrice è una 6FX4 del tipo a riscaldamento indiretto. La livellazione della tensione raddrizzata è ottenuta con una resistenza di 500 Ω, 1 W e con un condensatore di 16 μF, 350 volt.

TARATURA DELLO STRUMENTO. — È anzitutto necessario provvedere a mettere approssimativamente in equilibrio il ponte, regolando opportunamente la presa della resistenza R_4 e scegliendo il valore più opportuno per la resi-

stenza fissa R_3, in modo che l'indice dello strumento si trovi a zero, quando il cursore della resistenza R_2 è circa a metà corsa.

Con il commutatore sulla portata minore di 3 V, all'entrata del v.a.v., va applicata la tensione nota di 3 V, la quale dovrebbe portare l'indice dello strumento a fondo scala;

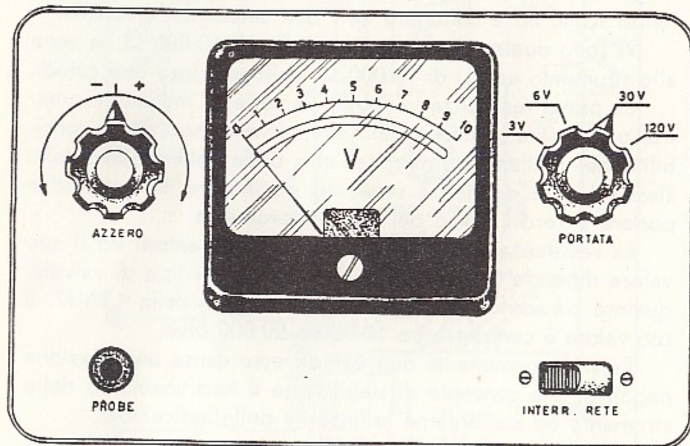


Fig. 16.22 - Aspetto esterno del voltmetro a valvola della fig. 16.21.

qualora l'indice oltrepassi la scala, la sensibilità del milliamperometro va ridotta regolando la resistenza in serie R_1. Una volta portato l'indice esattamente a fondo scala con la tensione di entrata di 3 V, occorre provvedere alla calibrazione dello strumento, riducendo la tensione di 3 V gradatamente sino a zero, e prendendo nota delle corrispondenti indicazioni da parte dello strumento, per tracciare con esse il grafico di taratura.

Non è necessario provvedere alla taratura delle altre portate, dato che esse possono venir riferite alla calibrazione

della prima portata. Ciò richiede però, che le resistenze del partitore siano sufficientemente precise, diversamente occorre provvedere a ripetere la taratura con adeguate tensioni note applicate all'entrata e con il tracciamento di altrettante curve sullo stesso grafico. Le resistenze calibrate consentono di estendere la taratura della prima portata a tutte le altre.

In tal caso le letture relative alle portate maggiori vanno ottenute moltiplicando rispettivamente per 2, per 10 e per 40 quelle della prima portata.

Eventuali altre portate si possono ricavare dal partitore calcolando le relative resistenze con la formula riportata nelle pagine precedenti.

Voltmetro a valvola a ponte a due valvole, Philips mod. GM 6004.

Caratteristiche generali di questo voltmetro a valvola a ponte illustrato dalla fig. 16.23, sono le seguenti:

a) funziona con due pentodi separati e collegati in parallelo;

b) lo strumento di misura è un microamperometro da 100 microampere f. s.;

c) il microamperometro è collegato tra i catodi delle due valvole ed indica la differenza tra le correnti anodiche delle stesse;

d) consente la misura di tensioni continue ed alternative su cinque portate, le seguenti: sino a 3 V, 10 V, 30 V, 100 V e 300 volt;

e) la misura viene effettuata con un solo probe provvisto di commutatore per il passaggio da CC a CA;

f) la rettificazione della tensione alternativa da misurare è ottenuta con un diodo a vuoto EA50, contenuto nel probe;

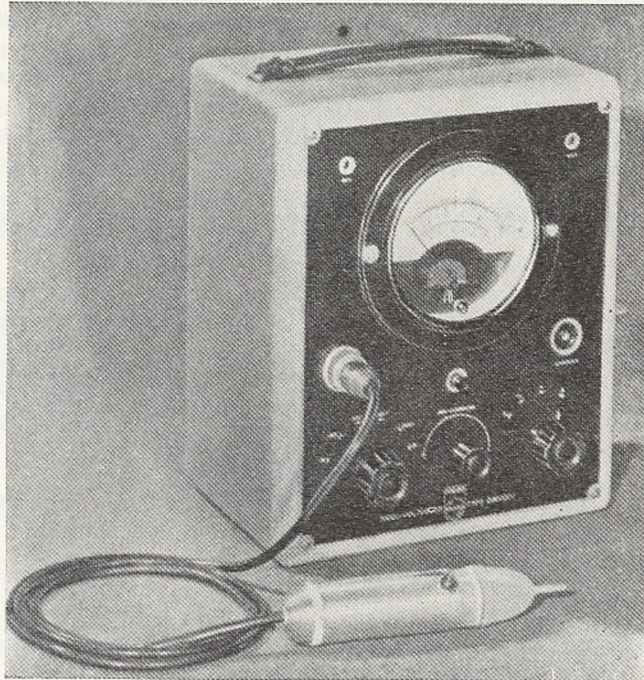


Fig. 16.23 – Aspetto esterno del voltmetro a valvola a ponte Philips mod. GM 6004.

g) la resistenza CC di entrata di questo v.a.v. è di 15 MΩ;

h) la frequenza della tensione alternativa misurabile va da 50 Hz a 100 MHz;

i) consente l'inversione di polarità dello strumento.

Si tratta di uno strumento di notevole sensibilità e linearità, adatto per il servizio radio e videotecnico.

Lo schema di principio è riportato dalla fig. 16.24.

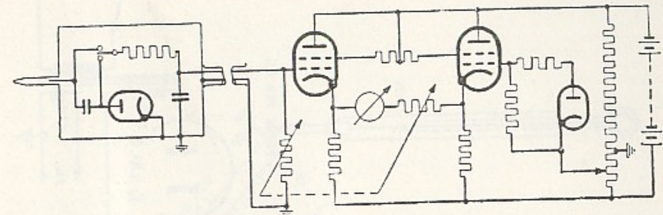


Fig. 16.24 – Schema di principio del v.a.v. Philips mod. GM 6004, cui la figura precedente.

Volt-ohmmetro a valvola.

In fig. 16.25 è schematicamente illustrato un volt-ohmmetro a valvola, per la misura di tensioni a corrente continua ed alternata da 0 a 3000 V e per la misura di resistenze da 0,5 Ω a 500 MΩ.

Lo strumento è un microamperometro da 400 μA, con resistenza interna di 500 ohm; esso misura la differenza tra le correnti catodiche di un doppio triodo, tipo 12AU7, collegato in circuito a ponte.

Le portate voltmetriche sono: 3, 10, 30, 100, 300, 1 000 e 3 000 V, fondo scala.

Le portate ohmmetriche sono: 500 Ω, 50 000 Ω, 5 MΩ e 500 MΩ, fondo scala.

L'alimentatore comprende un doppio diodo tipo 6AL5; uno dei suoi diodi provvede alla rettificazione delle tensioni alternative da misurare; l'altro diodo provvede, invece, alla rettificazione della tensione di alimentazione del multimetro.

In fig. 16.26 è illustrato il quadrante dello strumento, sul quale sono tracciate tre scale per la misura delle tensioni ed una scala per la misura delle resistenze. La scala inferiore è a zero centrale ed è utile per effettuare la taratura dei circuiti discriminatori.

I commutatori di portata e di funzione ed i potenziometri di azzeramento e di regolazione ohm sono situati sul

Fig. 16.25 - Schema di volt-ohmmetro a valvole.

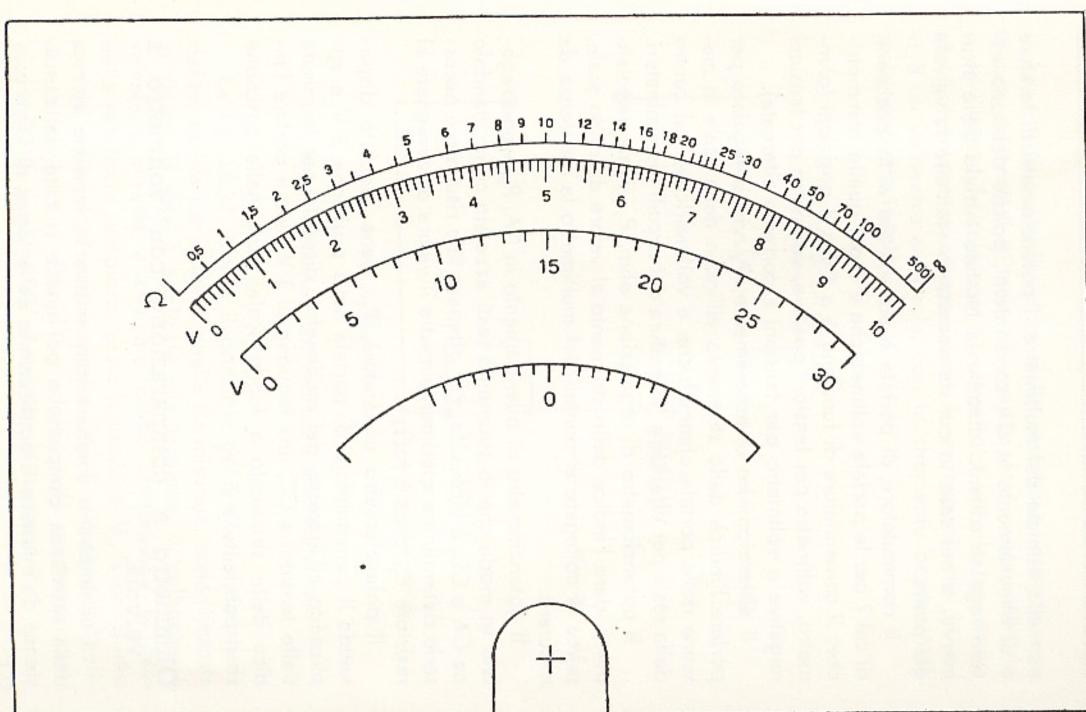


Fig. 16.26 - Quadrante del volt-ohmmetro a valvole.

pannello frontale del multimetro. I potenziometri di taratura e di bilanciamento in CA sono interni, poichè debbono essere regolati soltanto durante la taratura iniziale dello strumento, o nel caso in cui sia necessario sostituire la valvola del ponte.

Il commutatore di portata è ad una via e 11 posizioni, di cui 7 per le portate voltmetriche e 4 per quelle ohmmetriche; il commutatore di funzione è a 4 vie, 4 posizioni (ohmmetro, voltmetro per tensioni positive, voltmetro per tensioni negative e voltmetro per tensioni a corrente alternata).

Il potenziometro di azzeramento, P_4, viene regolato per portare l'indice dello strumento all'inizio della scala in ciascuna delle portate ohmmetriche e voltmetriche e al centro della scala per effettuare la taratura dei circuiti discriminatori.

Il potenziometro di regolazione ohm, P_2, viene regolato per portare l'indice dello strumento al valore di fondo scala, prima di collegare ai puntali del multimetro la resistenza da misurare.

Il potenziometro di bilanciamento in CA, P_3, viene regolato in modo che lo strumento resti azzerato commutandolo da CA a CC, e viceversa. Per ottenere tale risultato è necessario determinare sperimentalmente il valore da assegnare al resistore R_1 (circa 3 MΩ).

Il potenziometro di taratura, P_1, viene regolato disponendo il commutatore di portata nella posizione 3 V e applicando all'ingresso del multimetro, disposto per la misura delle tensioni a CC, una tensione di 3 V, fino a portare l'indice dello strumento a fondo scala, ossia nella posizione corrispondente a 3 V.

Ohmmetro a comparazione con voltmetro a valvola.

L'ohmmetro a comparazione misura la tensione ai capi della resistenza campione e poi quella ai capi della resistenza da misurare. L'applicazione della legge di Ohm con-

sente di conoscere il valore della resistenza incognita. La misura di tensioni ai capi di resistenze di valore elevato è però possibile solo con il voltmetro a valvola; ne risulta che l'ohmmetro a comparazione è un apparecchio in cui vi è un voltmetro a valvola, con lo strumento provvisto di scala graduata in ohm.

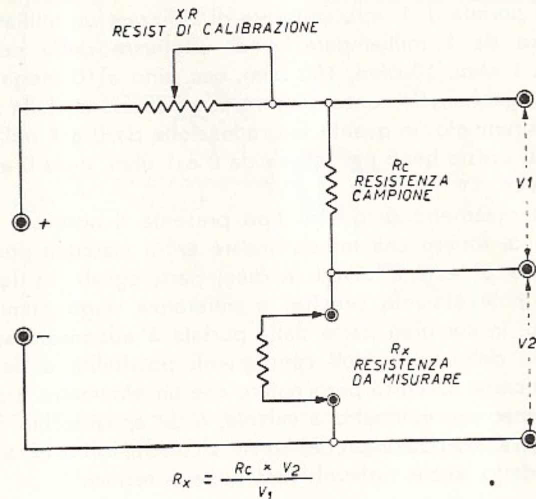


Fig. 16.27 – Principio dell'ohmmetro a comparazione.

La fig. 16.27 ricorda il principio generale. Le due resistenze, quella campione e quella da misurare, sono disposte in serie; ad esse è applicata una tensione. Il voltmetro a valvola provvede a misurare prima la tensione ai capi della resistenza campione, ossia la tensione V_1, e poi quella ai capi della resistenza incognita, V_2. Il valore della resistenza incognita è dato dal prodotto della resistenza campione per la tensione V_2, diviso per la tensione V_1.

In pratica si può adoperare un voltmetro a valvola con portata di 1 volt, e regolare la tensione applicata alle resistenze in modo che quella ai capi della resistenza campione sia di 1 volt, quando la resistenza incognita è zero, ossia è in cortocircuito. Tale regolazione può essere ottenuta come indicato nella stessa figura, con una resistenza semifissa, *XR*.

La portata di 1 volt, consente di utilizzare un milliamperometro da 1 milliampere, e di effettuare delle portate sino a 1 ohm, 10 ohm, 100 ohm, ecc. sino a 10 megaohm, 100 megaohm, ciò senza alterare la graduazione della scala dello strumento, in quanto la graduazione da 0 a 1 milliampere, si presta bene per letture da 0 a 1 ohm, o da 0 a 100 ohm, ecc.

Un ohmmetro di questo tipo presenta il notevole vantaggio di fornire una lettura lineare entro ciascuna portata. Ciascuna di esse è divisa in dieci parti eguali. La lettura risulta notevolmente precisa, a differenza degli ohmmetri comuni, in cui gran parte della portata è addensata ad un estremo della scala, con conseguenti possibilità di letture assai incerte. Occorre però notare che un ohmmetro a comparazione, con voltmetro a valvola, è un apparecchio complesso, la realizzazione del quale richiede, oltre al materiale adatto, anche notevoli accorgimenti tecnici.

IL VOLTMETRO A VALVOLA. — È del tipo a ponte, con una sola valvola. La valvola è un pentodo EF50, o altra simile, con la griglia-schermo collegata alla placca. La fig. 16.29 illustra le caratteristiche del ponte. La resistenza variabile RV_1, in serie al milliamperometro da 1 mA, ha il compito di adeguare la sensibilità dello strumento; funziona da controllo di sensibilità. L'altra resistenza variabile, RV_2, provvede alla messa in equilibrio del ponte. La resistenza R_6 è quella di catodo della valvola.

La tensione anodica è fornita da un alimentatore con rettificatore metallico; la tensione ai capi del secondario

AT è di 300 volt; la corrente anodica è di 15 mA. Non vi è resistenza di livellamento, non essendo necessaria; è sufficiente il solo condensatore elettrolitico C_1, di 16 microfarad.

All'entrata del ponte, tra la griglia controllo della EF50 e la massa, vi è un commutatore a due vie e a tre posizioni.

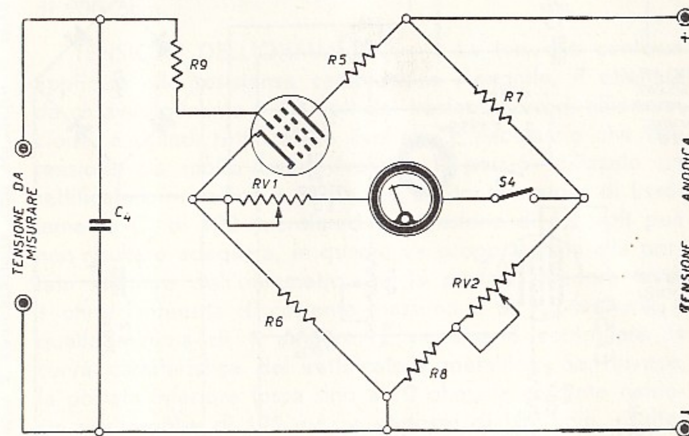


Fig. 16.28 – Principio del voltmetro a valvola per l'ohmmetro.

Le tre posizioni sono indicate con 1, 2 e 3. Nella posizione 1, l'entrata è a massa tramite la resistenza R_9, di 100 chiloohm. In tale posizione, il ponte viene equilibrato, e l'indice dello strumento viene messo a zero. È questa la « posizione di zero scala ».

Nella posizione 2 viene effettuata la misura della tensione ai capi della resistenza campione. In figura sono indicate quattro resistenze campione: R_1, R_2, R_3 e R_4. Poichè la tensione ai capi delle resistenze campione, è regolato in anticipo, in modo da corrispondere alla deflessione dell'indice a fondo scala, in corrispondenza ad 1 mA, in questa seconda

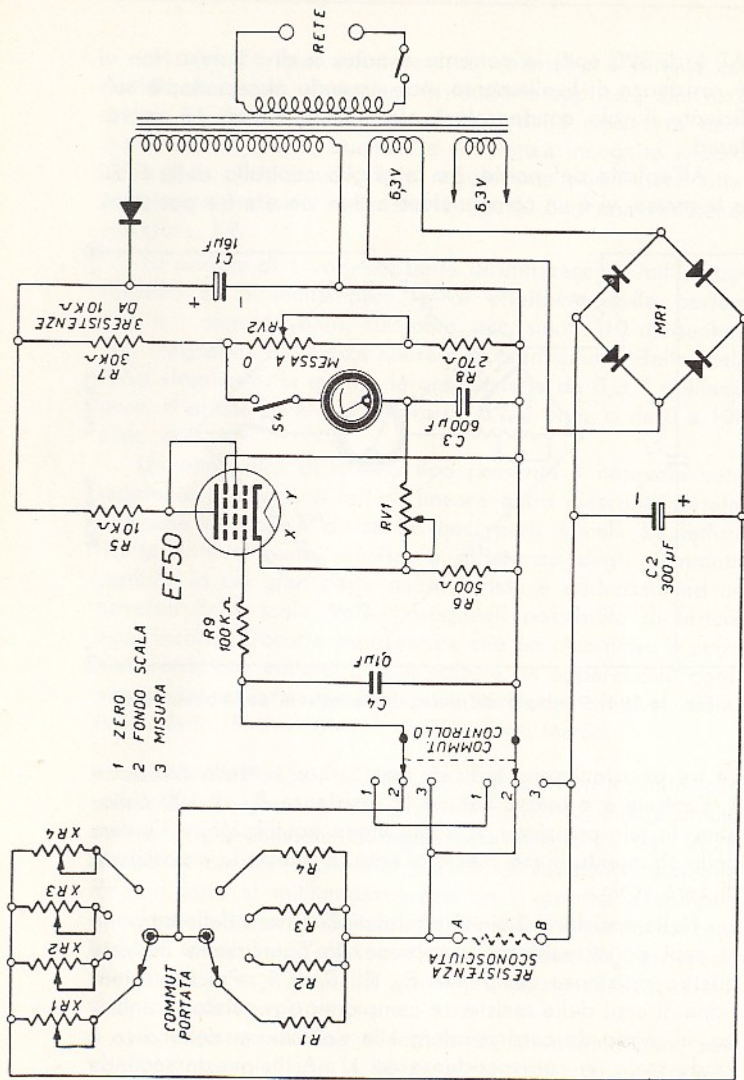


Fig. 16.29 - Ohmmetro a comparazione con voltmetro a valvola.

posizione viene effettuato il controllo di fondo scala. È la « posizione di fondo scala ».

Nella terza posizione viene letta la tensione ai capi della resistenza incognita, e dedotto il valore della resistenza stessa. Se la portata è di 1000 ohm, e l'indice segna, in tale portata, 0,9 mA, il valore della resistenza incognita è di 900 ohm.

TENSIONE DELL'OHMMETRO. — La tensione continua applicata alle resistenze campione e incognite, è ottenuta da un avvolgimento a 6,3 volt del trasformatore di alimentazione, e quindi rettificata e livellata. È necessario che tale tensione sia molto bene livellata, è perciò utilizzato un rettificatore metallico a ponte, ed un condensatore di livellamento C_2 di 300 microfarad. La tensione di 6,3 volt può non risultare adeguata, in quanto va proporzionata alla portata inferiore dell'ohmmetro. Se la portata inferiore è di 1 ohm, l'intensità di corrente massima è di 1,5 ampere, e quella minima di 1 ampere. È necessario controllare la curva caratteristica del rettificatore metallico. Se, invece, la portata inferiore fosse sino a 10 ohm, la corrente richiesta risulterebbe di 125 mA; e se fosse di 100 ohm, risulterebbe di 12 mA.

Con un secondario a 6,3 volt e 2 ampere, è possibile ottenere una corrente continua adatta anche per portate molto basse, sino a 1 ohm; salvo accorgimenti particolari è però opportuno limitare a 10 ohm la portata più bassa. La portata maggiore non presenta difficoltà, e può essere di 10 megaohm. Le portate dell'ohmmetro risultano in tal caso le seguenti quattro: sino a 10 ohm, sino a 1000 ohm, sino a 100 chiloohm e sino a 10 megaohm.

A ciascuna portata corrisponde una resistenza di caduta; sono perciò quattro: XR_1, XR_2, XR_3 e XR_4. Il valore delle resistenze campione e di quelle di caduta non è indicato, in quanto dipende dalle portate che vengono scelte e dalla tensione continua di alimentazione, effettivamente disponi-

bile. Per la portata maggiore, di 10 megaohm, se utilizzata, la resistenza di caduta non può essere semifissa, bensì costituita da più resistenze fisse in serie. È possibile utilizzare una portata maggiore di quella di 10 megaohm, ad es. sino a 50 megaohm; in tal caso non può venir utilizzata la resistenza di caduta in serie alla campione; occorre provvedere a caricare il circuito di alimentazione in qualche altro modo, con circuito addizionale.

DAMPING DELLO STRUMENTO. — Il passaggio da una posizione all'altra, delle tre posizioni del commutatore di controllo, può determinare violenti sbalzi dell'indice dello strumento. Per evitare tali sbalzi è inserito un condensatore damping, di capacità molto elevata; è indicato in figura con C_{31}, ed è di 600 microfarad. Per la presenza di questo condensatore è però necessario tenere aperto l'interruttore dello strumento, nella fase di accensione della valvola, in modo da inserire lo strumento solo a valvola in regime normale, per evitare un forte sbalzo indietro dell'indice, in assenza della tensione di polarizzazione.

CALIBRAZIONE E USO. — All'atto della prima prova, ruotare RV_1 alla massima resistenza, in modo da limitare al massimo la sensibilità dello strumento; ruotare il controllo di messa a zero (RV_2) a circa mezza corsa; sistemare le resistenze di caduta (XR) al massimo valore, in modo che la tensione ai capi delle resistenze campione sia minima; sistemare il commutatore di portata ad una portata qualsiasi, e quello di controllo nella posizione 1, ossia nella posizione di zero scala. Sistemare ai terminali di prova una resistenza di valore noto, circa eguale a quella della resistenza campione della resistenza inserita. Con l'interruttore dello strumento aperto, chiudere l'interruttore-rete e dar tempo all'accensione della valvola. Inserire lo strumento e regolare RV_2 per ottenere l'indice a zero. Mettere il commutatore controllo in posizione 2, di fondo scala, e regolare RV_1 alla massima deflessione. Portare quindi lo stesso commutatore in posizione 3, quella di misura, e constatare l'indicazione dello strumento.

La fig. 16.30 riporta l'aspetto esterno dell'apparecchio.

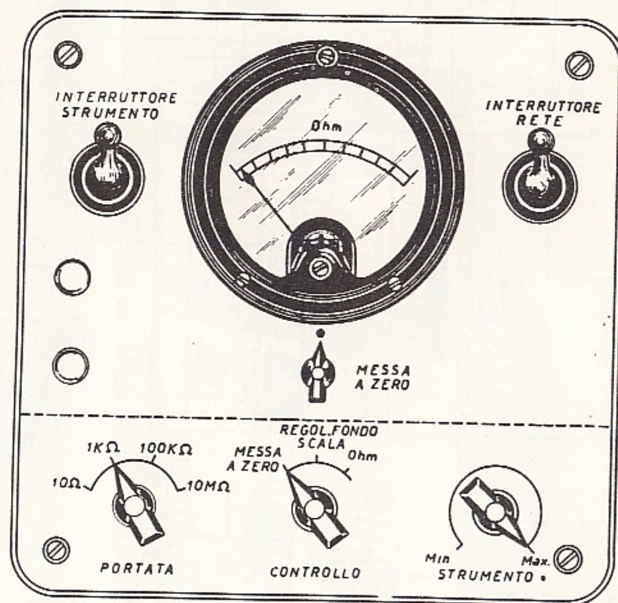


Fig. 16.30 - Aspetto esterno dell'ohmmetro con voltmetro a valvola.

Millivoltmetro a valvole.

Per il controllo dei circuiti audio è molto utile un millivoltmetro CA. Esso deve però avere una sensibilità molto elevata, in modo da consentire letture di frazioni di 1 millivolt.

Lo schema di fig. 16.31 è quello di un buon multivoltmetro a 5 portate, le seguenti: 10 mV, 100 mV, 1 V, 10 V

Fig. 16.31 - Schema di millivoltmetro a valvole.

e 100 V. Funziona con uno strumento da 100 microampere preceduto da un amplificatore a due doppi triodi.

Data l'alta sensibilità questo millivoltmetro presenta l'inconveniente di richiedere una alimentazione molto accu-

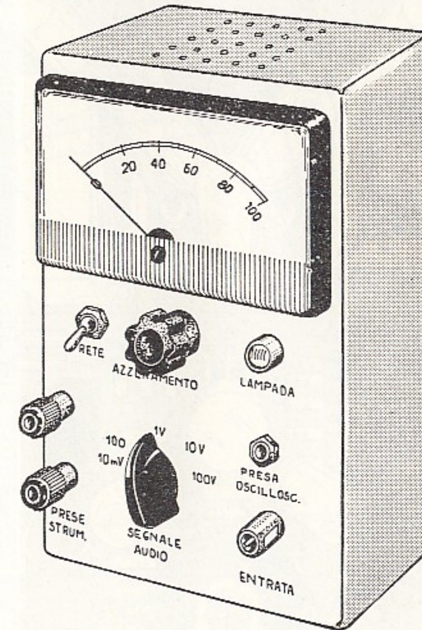


Fig. 16.32 - Aspetto esterno del millivoltmetro.

rata; i filamenti dei due doppi triodi devono venir accesi con tensione continua, ottenuta da un alimentatore.

La fig. 16.32 indica l'aspetto esterno del millivoltmetro. La fig. 16.33 indica la posizione dei componenti, e la fig. 16.34 riporta le misure della custodia.

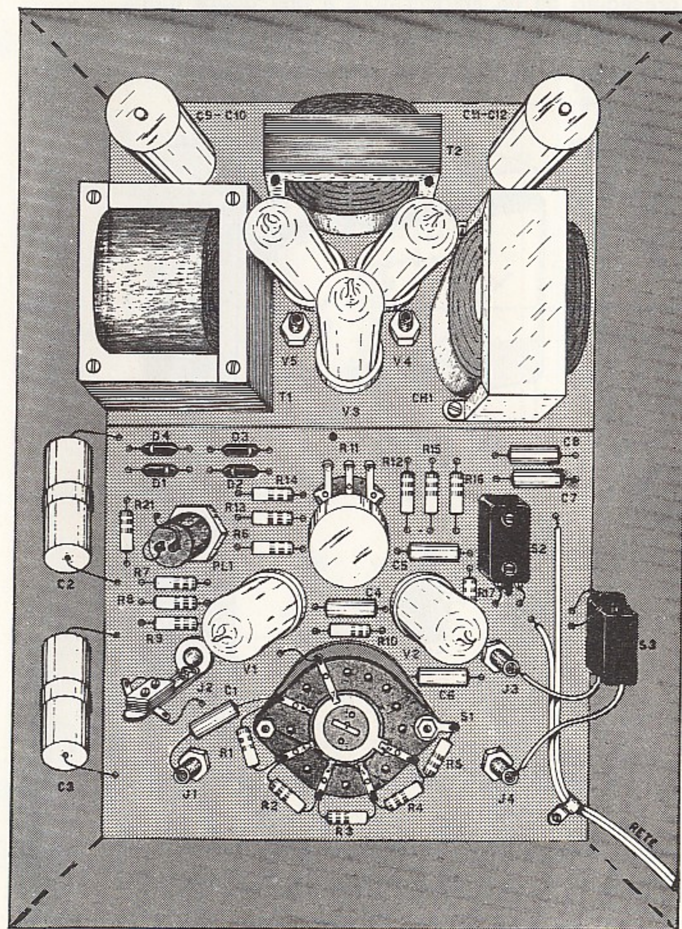


Fig. 16.33 - Posizione dei componenti.

Vanno tenuti presenti i seguenti punti:

a) le resistenze da R_1 a R_4 devono essere all'1 % di tolleranza; R_5 può essere costituita da un trimmer da 150 ÷ 300 ohm che si regolerà e si bloccherà sull'esatto valore richiesto con l'ausilio di un buon ohmmetro;

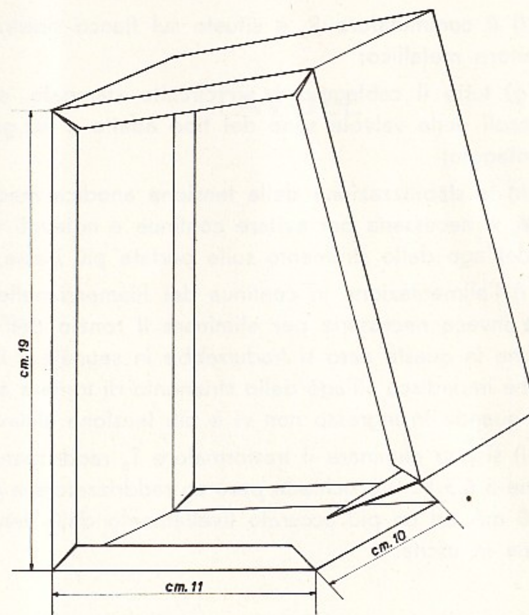


Fig. 16.34 - Misure della custodia.

b) R_{11} è un potenziometro lineare a filo da 1000 ohm;

c) R_{18} è un resistore a filo su supporto ceramico, munito di fascetta metallica scorrevole per permettere l'aggiustamento. E così pure R_{20};

d) C_9-C_{10} e C_{11}-C_{12} sono due condensatori elettrolitici doppi a vitone;

e) i quattro diodi a ponte possono essere sostituiti da altri tipi analoghi, adatti per tensioni di 90 volt circa. Oppure si può impiegare un raddrizzatore a ponte per strumenti;

f) il commutatore S_3 è situato sul fianco sinistro del contenitore metallico;

g) tutto il cablaggio è un circuito stampato, quindi gli zoccoli delle valvole sono del tipo adatto a tal genere di montaggio;

h) la stabilizzazione della tensione anodica mediante V_4 e V_5 è necessaria per evitare continue e notevoli variazioni dell'ago dello strumento sulle portate più basse;

i) l'alimentazione in continua dei filamenti nelle valvole è invece necessaria per eliminare il ronzio dell'alternata, che in questo caso si tradurrebbe in segnale a livello fisso che impedisce all'ago dello strumento di tornare a zero anche quando in ingresso non vi è più tensione alcuna;

l) si può eliminare il trasformatore T_2 raddrizzando la tensione a 6,3 V. Ciò richiede però un raddrizzatore a ponte da 600 mA ed un più accurato livellamento della tensione continua in uscita.

TAVOLE

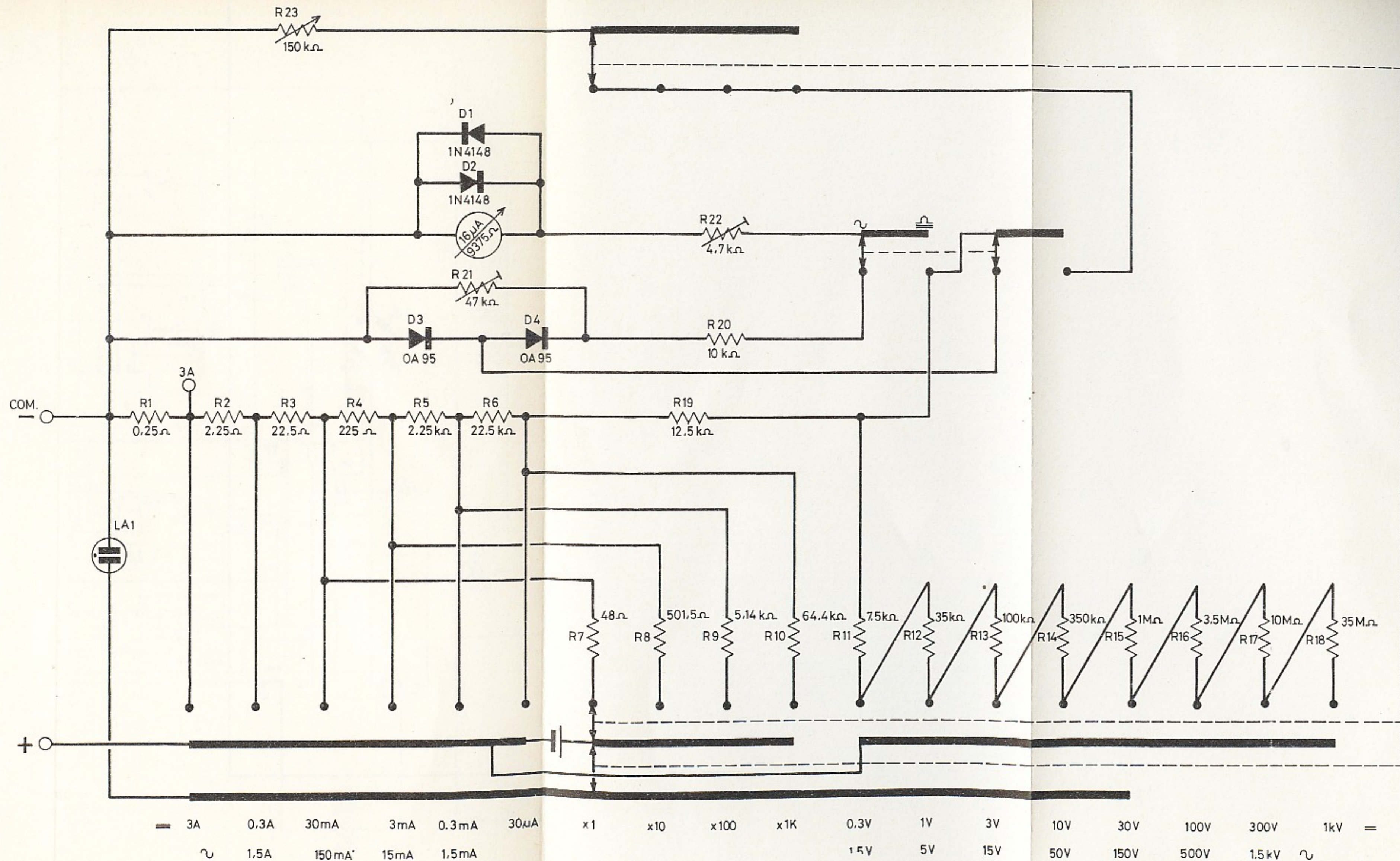


Tavola A – Schema elettrico del multitester Philips UTS-001.

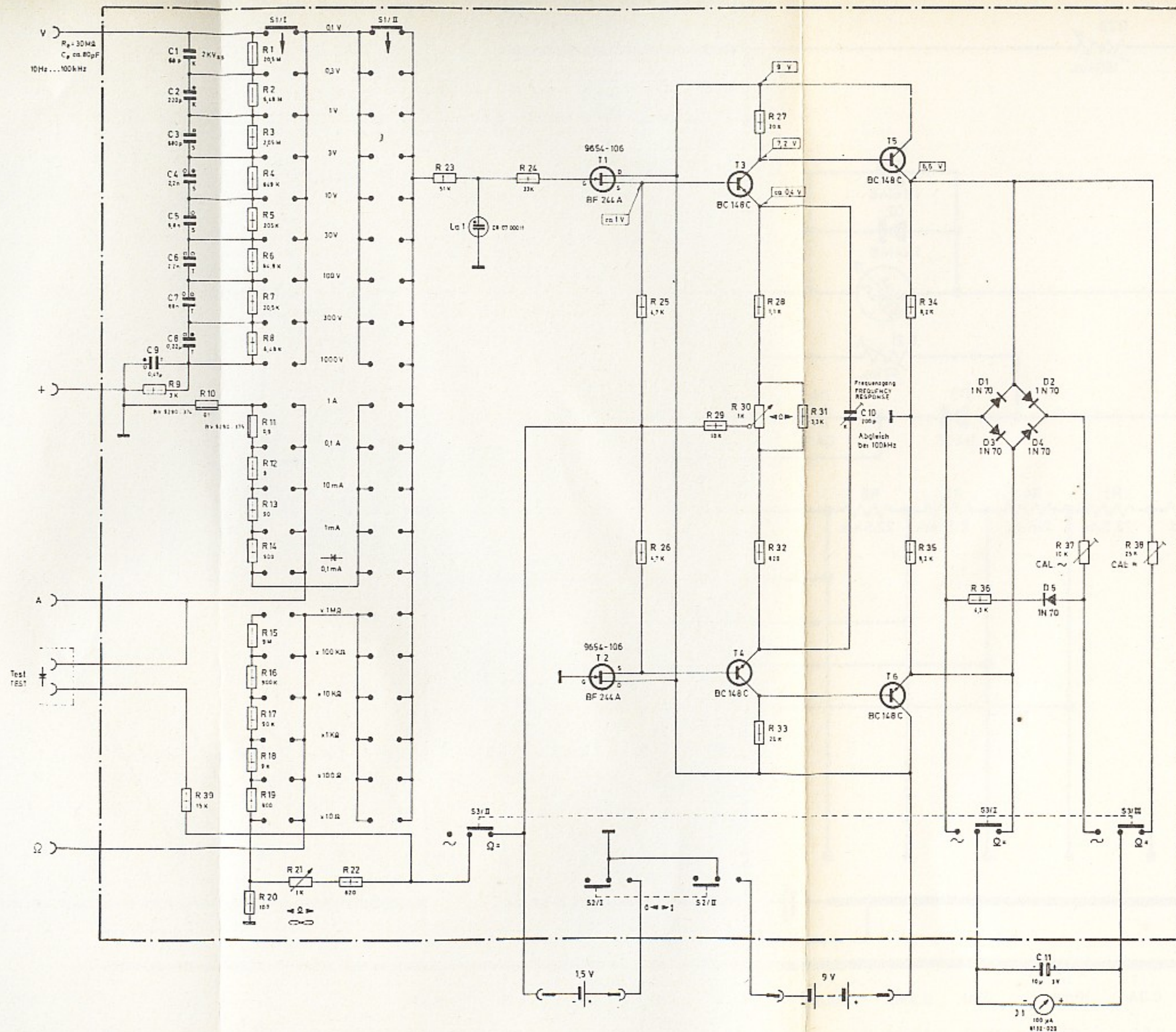


Tavola B - Schema del multimetro elettronico mod. UV30 della Grundig. (L'aspetto esterno è quello di fig. 9.13).



NOTES:

1 ALL RESISTANCES ARE IN OHMS.
2 ALL CAPACITIES IN MICROFARADS UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
3 S1 SHOWN IN 100 Ω POSITION.
4 S2 SHOWN IN DC V POSITION.
5 DISPLAYS D1 THRU D3 MUST BE REPLACED WITH SAME TYPE AND GRADE
6 NETWORKS MUST BE REPLACED WITH SAME TYPE
7 BATTERIES MUST BE INSTALLED IN UNIT IN ALL MODES OF OPERATION, AND POWER
8 THIS SCHEMATIC SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE.
9 C12 NOT USED.

Tavola C - Schema elettrico del multimetro digitale B + K PRECISION.

entrata "a"

Spannungsteiler „a" 7696-710

preamplificatore-entrata "a"

Valore di picco

FILTER

TRÄGE

Spitzenwert

S 401

mV
0 dB

•1000
-50 dB

entrata "b"

Attenuatore di entrata "b"

Spannungsteiler „b" 7696-720

Schaltplatte kpl. 7392-131

Schaltplatte kpl. 7392-132

S 501/III

S 501/I

S 501/II

VOLT
WATT

WATT •10

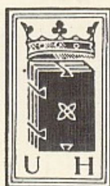
Amplificatore principale

Collegamento filtri

CAL.

Uscita

Tavola D - Schema del millivoltmetro MV5 della Grundig.



ISBN 88-203-1088-0